

การออกแบบสายอากาศไมโครสตริปช่องเปิดสามตัวในสามแถบความถี่  
DESIGN OF TRIPLE-SLOT MICROSTRIP ANTENNA FOR TRIPLE-BAND



จรินทร์ จุลวานิช  
CHARIN CHULVANICH

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

พ.ศ. 2553

การออกแบบสายอากาศไมโครสตริปช่องเปิดสามตัวในสามแถบความถี่

จรินทร์ จุลวานิช

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

พ.ศ. 2553

DESIGN OF TRIPLE-SLOT MICROSTRIP ANTENNA FOR TRIPLE-BAND



CHARIN CHULVANICH

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILMENT OF THE REQUIREMENTS FOR  
THE DEGREE OF MASTER OF ENGINEERING

IN ELECTRICAL ENGINEERING DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING  
FACULTY OF ENGINEERING

RAJAMANGALA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY THANYABURI

2010

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นงานวิจัยที่เกิดจากการค้นคว้าและวิจัยขณะที่ข้าพเจ้าศึกษาอยู่ในคณะ  
วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ดังนั้น งานวิจัยในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ถือ  
เป็นลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรีและข้อความต่างๆในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้  
ข้าพเจ้าขอรับรองว่าไม่มีการคัดลอกหรือนำงานวิจัยของผู้อื่นมานำเสนอในชื่อของข้าพเจ้า

นายจรินทร์ จุลวานิช





ใบรับรองวิทยานิพนธ์  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การออกแบบสายอากาศไมโครสตริปช่องเปิดสามตัว  
ในสามแถบความถี่  
DESIGN OF TRIPLE-SLOT MICROSTRIP ANTENNA  
FOR TRIPLE-BAND

นักศึกษา นายจรินทร์ จุลวานิช

รหัสประจำตัว 114870402008-6

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก รองศาสตราจารย์ ดร. นำยุทธ สงค์ธนาพิทักษ์

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม รองศาสตราจารย์ นภพินท์ อนันตรศิริชัย

วัน เดือน ปี ที่สอบ 18 กันยายน 2553

สถานที่สอบ ห้องลำควนดิน ภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม  
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร.กนก เจนจิระพงศ์เวช)

..... กรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร.นำยุทธ สงค์ธนาพิทักษ์)

..... กรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ นภพินท์ อนันตรศิริชัย)

..... กรรมการ  
(ดร.อำนาจ เรืองวาริ)

..... กรรมการ  
(ดร.ฉัตรชัย สุภพิทักษ์สกุล)

.....  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สมชัย หิรัญวโรดม)

คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การออกแบบสายอากาศไมโครสตริปช่องเปิดสามตัว ในสามแถบความถี่
นักศึกษา	นายจรินทร์ จุลวานิช
รหัสประจำตัว	114870402008-6
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า (วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม)
ปีการศึกษา	2553
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	รองศาสตราจารย์ ดร.นำยุทธ สงค์ธนาพิทักษ์ รองศาสตราจารย์ นภพินท์ อนันตรศิริชัย

#### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอการออกแบบสายอากาศช่องเปิดสามตัวในสามแถบความถี่ เพื่อใช้งานในเครือข่ายไร้สาย โดยโครงสร้างของสายอากาศจะประกอบด้วยช่องเปิด 3 ตัว ถูกวางอยู่บนระนาบกราวด์กับวัสดุฐานรองคอรอยด์ RT/5880 ความหนา 1.575 มิลลิเมตร ค่าคงตัวไดอิเล็กตริก 2.2 ซึ่งช่องเปิดทั้ง 3 ตัว ถูกกระตุ้นสัญญาณโดยผ่านสายส่งสัญญาณไมโครสตริปไลน์ สายอากาศที่ออกแบบนี้ ใช้กับการสื่อสารไร้สาย สำหรับแถบความถี่ตามมาตรฐาน IEEE 802.11b/g (2.4-2.4835 GHz), IEEE 802.11a (5.15-5.35 GHz), IEEE 802.11j (4.90-5.091 GHz), IEEE 802.16e (5.7-5.9 GHz), Public Safety Frequency (4.940-4.990 GHz) และ WiMAX (3.4-3.6 GHz) รวม 3 แถบความถี่

ในการออกแบบสายอากาศในครั้งนี้เพื่อศึกษาวิจัยหาผลที่ได้ที่ดีที่สุดจากการจำลองแบบ โดยใช้โปรแกรม IE3D ค่าความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับ ความกว้างแถบ แบบรูปการแผ่พลังงาน เพื่อเป็นแนวทางในการสร้างและพัฒนาารูปแบบสายอากาศต่อไปในอนาคต

ผลการวิจัย เมื่อเปรียบเทียบค่าความสูญเสียย้อนกลับจากการจำลองแบบกับการวัดโดยเครื่องวิเคราะห์โครงข่ายจะได้ผลใกล้เคียงกัน

คำสำคัญ: สายอากาศช่องเปิด ค่าคงตัวไดอิเล็กตริก ความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับ  
ความกว้างแถบ แบบรูปการแผ่พลังงาน

**Thesis Title** : DESIGN OF TRIPLE-SLOT MICROSTRIP ANTENNA  
FOR TRIPLE-BAND

**Student Name** : Mr. Charin Chulvanich

**Student ID** : 114870402008-6

**Degree Award** : Master of Engineering

**Study Program** : Electrical Engineering  
(Electronic and Telecommunication Engineering)

**Academic Year** : 2010

**Thesis Advisors** : Associate Professor Dr. Numyoot Songthanapitak  
Associate Professor Noppin Anantrasirichai

### **Abstract**

This research aimed to design of triple slot antenna for triple band are presented. The antenna consists of 3 slots on a ground plane of duroid RT/5880 substrate, the thickness = 1.575 millimeters, dielectric constant = 2.2. The 3 slots are excited via microstrip line. This antenna are designed for WLAN band, standard frequency IEEE 802.11b/g (2.4-2.4835 GHz), IEEE 802.11a (5.15-5.35 GHz), IEEE 802.11j (4.9-5.091 GHz), IEEE 802.16e (5.7-5.9 GHz), Public safety frequency (4.94-4.990 GHz) and WiMAX (3.4-3.6 GHz), total 3 frequency band.

Herein, the design of these slot antenna are studied for best results. Experimental and simulation are carried out. The program IE3D is employed for return loss, bandwidth and radiation pattern. Having studied the design of proposed results, we could proceed to construct and developing the practical fabrication in the future.

The research result revealed that the comparing of return loss from the simulation with the measurement from network analysis has got the similar outcome.

**Keywords:** Slot antenna, Dielectric constant, Return Loss, Bandwidth, Radiation Pattern

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความกรุณาจากอาจารย์ที่ปรึกษาทั้ง 2 ท่าน คือ รองศาสตราจารย์ ดร.นายุทธ สงค์ธนาพิทักษ์ และรองศาสตราจารย์นภพินท์ อนันตรศิริชัย ตลอดจนผู้ช่วยศาสตราจารย์จินตนา นาคสุวรรณ และอาจารย์ ดร.ไพฑูรย์ รักเหลือ ที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ ชี้แนะแนวทาง และให้คำแนะนำในการแก้ไขปัญหา ช่วยตรวจทานต้นฉบับของวิทยานิพนธ์นี้ ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ ความกรุณาที่ท่านมีให้เป็นอย่างสูง

ขอขอบคุณอาจารย์ธนะกิจ วัฒนกีคำธร ที่ช่วยดำเนินการสร้างสายอากาศจริง และดำเนินการวัดค่าต่าง ๆ จนได้ผลเป็นที่น่าพอใจ ตลอดจนเพื่อน ๆ และน้องทุกคนที่ได้ให้ความช่วยเหลือในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จ และคอยเป็นกำลังใจให้เสมอมา

ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ และมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ และอุปกรณ์ในการทำวิจัยฉบับนี้จนสำเร็จลุล่วง

คุณค่าและคุณประโยชน์อันพึงเกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบให้แก่บิดา และมารดา ซึ่งมีพระคุณที่สุดในชีวิต

จรินทร์ จุลวานิช

18 กันยายน 2553



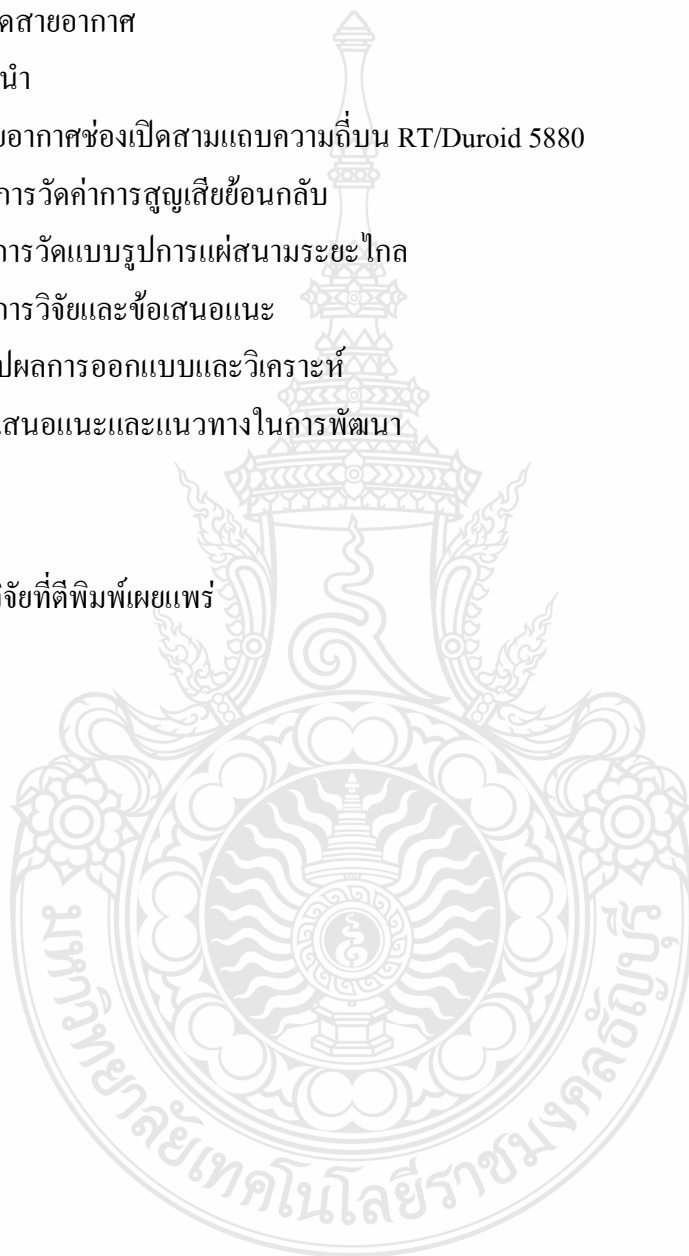


## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ช
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	ญ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา	1
1.3 สมมุติฐานของการศึกษา	2
1.4 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย	2
1.5 ขอบเขตของการวิจัย	3
1.6 ขั้นตอนของการศึกษา	3
บทที่ 2 ทฤษฎีสายอากาศไมโครสตริปและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	5
2.1 บทนำ	5
2.2 สายส่งสัญญาณแบบไมโครสตริป	5
2.3 สายอากาศไมโครสตริปแบบช่องเปิด	14
2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	18
2.5 สรุป	18
บทที่ 3 การออกแบบสายอากาศช่องเปิดสามตัวในสามแถบความถี่	19
3.1 บทนำ	19
3.2 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการออกแบบสายอากาศ	20
3.3 การออกแบบสายอากาศแบบช่องเปิดสำหรับหนึ่งแถบความถี่	22
3.4 การออกแบบสายอากาศแบบช่องเปิดสำหรับสองแถบความถี่	29
3.5 การออกแบบสายอากาศแบบช่องเปิดสำหรับสามแถบความถี่	32
3.6 การออกแบบสายอากาศแบบช่องเปิดสำหรับห้าแถบความถี่มาตรฐานใช้งาน	35
3.7 คุณลักษณะที่สำคัญของสายอากาศช่องเปิดห้าแถบความถี่เมื่อระนาบกราวด์เป็นอนันต์	40
3.8 การจำลองสายอากาศช่องเปิด 5 แถบความถี่มาตรฐาน เมื่อกำหนดระนาบกราวด์	46

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.9 แบบรูปการแผ่สนามระยะไกล เมื่อระนาบกราวด์ไม่เป็นอนันต์	53
3.10 สรุปผลการออกแบบสายอากาศสำหรับหลายแถบความถี่มาตรฐาน	56
บทที่ 4 ผลการวัดสายอากาศ	57
4.1 บทนำ	57
4.2 สายอากาศช่องเปิดสามแถบความถี่บน RT/Duroid 5880	57
4.3 ผลการวัดค่าการสูญเสียย้อนกลับ	58
4.4 ผลการวัดแบบรูปการแผ่สนามระยะไกล	60
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	64
5.1 สรุปผลการออกแบบและวิเคราะห์	64
5.2 ข้อเสนอแนะและแนวทางในการพัฒนา	66
เอกสารอ้างอิง	67
ภาคผนวก	68
ผลงานวิจัยที่ตีพิมพ์เผยแพร่	69
ประวัติผู้เขียน	77



## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า	
3.1	เปรียบเทียบผลจากการเปลี่ยนแปลงความกว้างช่องเปิด เมื่อ $L_1$ เท่ากับ 40 มิลลิเมตร	23
3.2	ผลจากการเปลี่ยนแปลงความกว้างช่องเปิด $W_1$ ระหว่าง 4 มิลลิเมตร ถึง 5 มิลลิเมตร	25
3.3	ผลจากการเปลี่ยนแปลงระยะ $Lm_1$ เมื่อ $L_1 = 40$ มิลลิเมตร และ $W_1 = 5.0$ มิลลิเมตร	26
3.4	ผลจากการเปลี่ยนแปลงความกว้าง $L_3$ และระยะความยาว $Lm_1$	28
3.5	ผลการจำลองสายอากาศสองแถบความถี่ เมื่อออกแบบแถบความถี่ที่สองที่ 5.25 GHz	30
3.6	ผลการจำลองที่ได้จากการเปลี่ยนค่า $L_2$ และปรับค่า $Lm_2$ เพื่อให้ได้ความถี่ที่ต้องการ	32
3.7	ผลการจำลองเมื่อเปลี่ยนค่า $L_2$ และปรับ $Lm_2$ โดยพารามิเตอร์อื่นๆ มีค่าตามรูปที่ 3.10	34
3.8	ผลการจำลองเมื่อเปลี่ยนค่า $L_6$ โดยที่ $L_1 = 39.7$ มม., $Lm_1 = 0.5$ มม., $L_4 = 22.5$ มม. $L_2 = 24.65$ มม., $Lm_2 = 13.6$ มม., $L_5 = 14.6$ มม. และ $Lm_3 = 17.6$ มม.	36
3.9	ผลการจำลองเมื่อแทรกเส้นช่องเปิดแนวอนกกลาง โดยที่ $L_2 = 25.65$ มม.	38
3.10	คุณลักษณะของสายอากาศห้าแถบความถี่มาตรฐาน	40
3.11	คุณลักษณะของสายอากาศแบบช่องเปิดห้าแถบความถี่มาตรฐาน ณ ความถี่ต่างๆ	42
3.12	คุณลักษณะที่สำคัญของสายอากาศห้าแถบความถี่มาตรฐาน เมื่อระนาบกราวด์ กว้าง 70 มิลลิเมตร และสูง 57 มิลลิเมตร	49
3.13	คุณลักษณะของสายอากาศแบบช่องเปิดที่กึ่งกลางแถบความถี่มาตรฐานใช้งาน	51
3.14	เปรียบเทียบแบนด์วิดท์ของสายอากาศเมื่อระนาบกราวด์เป็นอนันต์และไม่เป็นอนันต์	52
4.1	เปรียบเทียบคุณลักษณะสายอากาศระหว่างการจำลองแบบกับการวัด	60
5.1	คุณลักษณะของสายอากาศช่องเปิดสามตัวในสามแถบความถี่ที่ได้จากการวัด	65
5.2	ผลการจำลองประสิทธิภาพ และเกนของสายอากาศช่องเปิดสามตัวในสามแถบความถี่	65

## สารบัญรูป

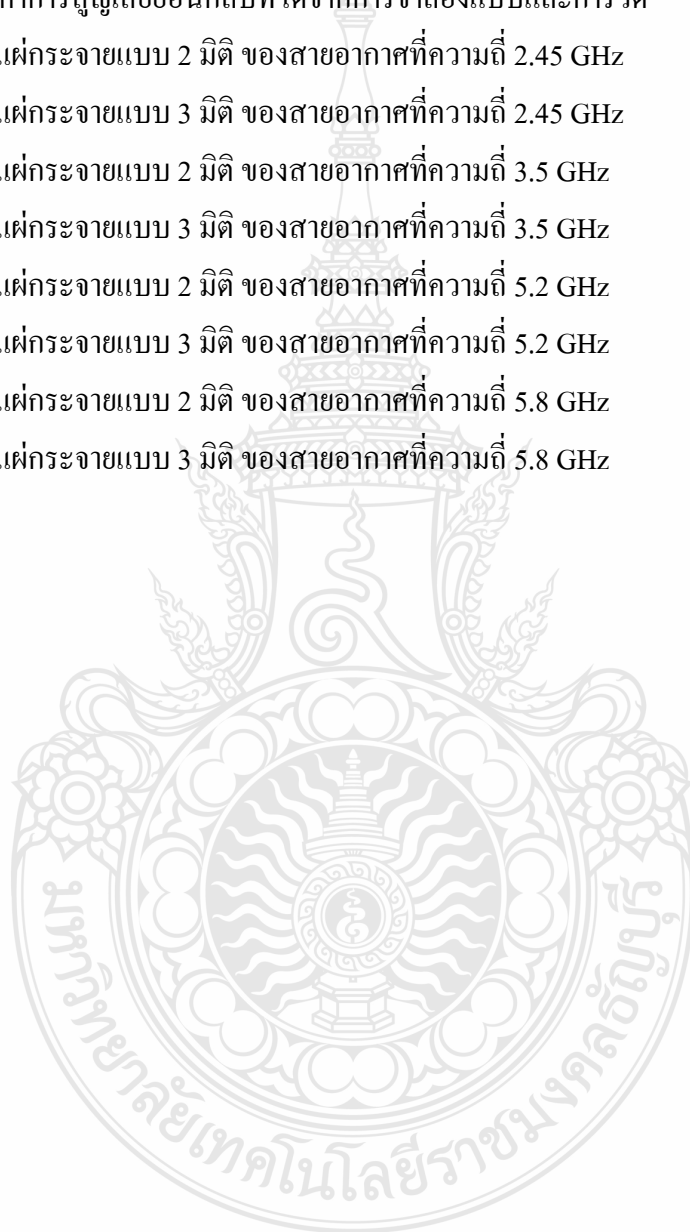
รูปที่	หน้า	
2.1	โครงสร้างของสายส่งสัญญาณแบบไมโครสตริปไลน์	6
2.2	เส้นแรงไฟฟ้าในระนาบตามขวางของสายส่งสัญญาณแบบไมโครสตริป	6
2.3	สายส่งไมโครสตริปที่มี $w/h \gg 1$	9
2.4	สายส่งไมโครสตริปที่มี $w/h \ll 1$	9
2.5	ตัวอย่างการเปลี่ยนแปลงตามความถี่ของค่าไดอิเล็กตริกสัมพัทธ์ประสิทธิผล	10
2.6	โครงสร้างของสายอากาศไมโครสตริปแบบช่องเปิด	14
2.7	โครงสร้างของสายอากาศไมโครสตริปแบบช่องเปิดที่ส่งผ่านคลื่นแบบปิดวงจร	14
2.8	โครงสร้างของสายอากาศไมโครสตริปแบบช่องเปิดที่ส่งผ่านคลื่นแบบเปิดวงจร	14
2.9	การสะท้อนและการส่งผ่านคลื่น	16
2.10	การกระจายคลื่นจากช่องเปิด	16
2.11	วิธีการเลื่อนจุดกึ่งกลางของช่องเปิดออกจากจุดกึ่งกลางของสายส่งสัญญาณ	17
2.12	วิธีการปรับความยาวท่อนสั้น	17
2.13	วิธีการหมุนช่องเปิด	18
3.1	โครงสร้างสายอากาศเบื้องต้น	22
3.2	การสูญเสียย้อนกลับ เมื่อ $W_1 = 1.0-10.0$ มิลลิเมตร	23
3.3	การสูญเสียย้อนกลับ เมื่อ $W_1 = 4.0-5.0$ มิลลิเมตร	24
3.4	การสูญเสียย้อนกลับ เมื่อ $W_1 = 5.0$ มิลลิเมตร และ $Lm_1 = 0.8-1.4$ มิลลิเมตร	25
3.5	โครงสร้างสายอากาศช่องเปิดวงรอบสี่เหลี่ยมผืนผ้าแคบ	27
3.6	การสูญเสียย้อนกลับ เมื่อ $L_3 = 1.0-8.0$ มิลลิเมตร	28
3.7	โครงสร้างสายอากาศสองแถบความถี่	29
3.8	การสูญเสียย้อนกลับ เมื่อ $L_2 = 24.85$ มิลลิเมตร และ $Lm_2 = 13.50$ มิลลิเมตร	30
3.9	การสูญเสียย้อนกลับ เมื่อ $L_2$ อยู่ในช่วงระหว่าง 22.70-25.95 มิลลิเมตร	31
3.10	โครงสร้างสายอากาศแบบช่องเปิดสามแถบความถี่	32
3.11	การสูญเสียย้อนกลับ ที่แถบความถี่ต่ำ-สูง และความถี่ 3.5 GHz	34
3.12	โครงสร้างสายอากาศห้าแถบความถี่มาตรฐานใช้งาน เมื่อ $L_2 = 24.65$ มม.	35
3.13	การสูญเสียย้อนกลับก่อนและหลังเพิ่มเส้นช่องเปิดแนวนอนกลาง เมื่อ $L_2 = 24.65$ มม.	36
3.14	โครงสร้างสายอากาศห้าแถบความถี่มาตรฐานใช้งาน เมื่อ $L_2 = 25.65$ มม. $L_6 = 28.4$ มม.	37
3.15	การสูญเสียย้อนกลับที่เกิดจากการแทรกเส้นช่องเปิดแนวนอนกลาง เมื่อ $L_2 = 25.65$ มม.	38
3.16	โครงสร้างสายอากาศห้าแถบความถี่มาตรฐาน เมื่อขยายขนาดของสายอากาศ	39

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.17 การสูญเสียย้อนกลับ เมื่อปรับความกว้าง $s_2$ และพารามิเตอร์อื่นๆ	39
3.18 อินพุตอิมพีแดนซ์ของสายอากาศช่องเปิดหัวแถบความถี่มาตรฐาน	40
3.19 อัตราส่วนแรงดันคลื่นนิ่ง (VSWR) ของสายอากาศช่องเปิดหัวแถบความถี่มาตรฐาน	41
3.20 อัตราขยาย (Gain) ของสายอากาศช่องเปิดหัวแถบความถี่มาตรฐาน	42
3.21 แบบรูปจำลองการแผ่สนามระยะไกล เมื่อกราวด์เป็นอนันต์ ที่ความถี่ 2.44 GHz	43
3.22 แบบรูปจำลองการแผ่สนามระยะไกล เมื่อกราวด์เป็นอนันต์ ที่ความถี่ 3.5 GHz	43
3.23 แบบรูปจำลองการแผ่สนามระยะไกล เมื่อกราวด์เป็นอนันต์ ที่ความถี่ 4.99 GHz	44
3.24 แบบรูปจำลองการแผ่สนามระยะไกล เมื่อกราวด์เป็นอนันต์ ที่ความถี่ 5.25 GHz	45
3.25 แบบรูปจำลองการแผ่สนามระยะไกลเมื่อกราวด์เป็นอนันต์ ที่ความถี่ 5.8 GHz	45
3.26 สายอากาศหัวแถบความถี่มาตรฐาน และผลการจำลอง	46
3.27 การสูญเสียย้อนกลับเมื่อระนาบกราวด์กว้าง 85.36 มิลลิเมตร และสูง 60.59 มิลลิเมตร	47
3.28 การสูญเสียย้อนกลับเมื่อระนาบกราวด์กว้าง 74.00 มิลลิเมตร และสูง 60.00 มิลลิเมตร	47
3.29 การสูญเสียย้อนกลับเมื่อระนาบกราวด์กว้าง 74.00 มิลลิเมตร และสูง 57.00 มิลลิเมตร	48
3.30 การสูญเสียย้อนกลับเมื่อระนาบกราวด์กว้าง 70.00 มิลลิเมตร และสูง 57.00 มิลลิเมตร	48
3.31 การสูญเสียย้อนกลับเมื่อระนาบกราวด์กว้าง 70.00 มิลลิเมตร สูง 57.00 มิลลิเมตร และ ระยะ $r_2 = 0.55$ มิลลิเมตร ( $L_4 = 22.75$ มิลลิเมตร)	49
3.32 อินพุตอิมพีแดนซ์เมื่อระนาบกราวด์กว้าง 70.00 มิลลิเมตร และสูง 57.00 มิลลิเมตร ( $r_2 = 0.55$ มม.)	50
3.33 อัตราส่วนแรงดันคลื่นนิ่งเมื่อระนาบกราวด์กว้าง 70 มิลลิเมตร และสูง 57 มิลลิเมตร ( $r_2 = 0.55$ มม.)	50
3.34 อัตราขยาย (Gain) เมื่อระนาบกราวด์กว้าง 70 มิลลิเมตร และสูง 57 มิลลิเมตร ( $r_2 = 0.55$ มม.)	50
3.35 เปรียบเทียบการสูญเสียย้อนกลับระหว่างระนาบกราวด์อนันต์และขนาดกราวด์ $70 \times 57$ มม. <sup>2</sup>	51
3.36 แบบรูปจำลองการแผ่สนามระยะไกลเมื่อกราวด์ไม่เป็นอนันต์ ที่ความถี่ 2.44 GHz	53
3.37 แบบรูปจำลองการแผ่สนามระยะไกล ที่ความถี่ 3.5 GHz	53
3.38 แบบรูปจำลองการแผ่สนามระยะไกล ที่ความถี่ 4.99 GHz	55
3.39 แบบรูปจำลองการแผ่สนามระยะไกล ที่ความถี่ 5.25 GHz	55
3.40 แบบรูปจำลองการแผ่สนามระยะไกล ที่ความถี่ 5.8 GHz	55
4.1 ชิ้นงานสายอากาศที่สร้างขึ้น	57

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.2 การวัดค่าการสูญเสียย้อนกลับ	58
4.3 การสูญเสียย้อนกลับจากการวัดด้วยเครื่องวิเคราะห์โครงข่าย	58
4.4 เปรียบเทียบค่าการสูญเสียย้อนกลับที่ได้จากการจำลองแบบและการวัด	59
4.5 แบบรูปการแผ่กระจายแบบ 2 มิติ ของสายอากาศที่ความถี่ 2.45 GHz	60
4.6 แบบรูปการแผ่กระจายแบบ 3 มิติ ของสายอากาศที่ความถี่ 2.45 GHz	61
4.7 แบบรูปการแผ่กระจายแบบ 2 มิติ ของสายอากาศที่ความถี่ 3.5 GHz	61
4.8 แบบรูปการแผ่กระจายแบบ 3 มิติ ของสายอากาศที่ความถี่ 3.5 GHz	61
4.9 แบบรูปการแผ่กระจายแบบ 2 มิติ ของสายอากาศที่ความถี่ 5.2 GHz	62
4.10 แบบรูปการแผ่กระจายแบบ 3 มิติ ของสายอากาศที่ความถี่ 5.2 GHz	62
4.11 แบบรูปการแผ่กระจายแบบ 2 มิติ ของสายอากาศที่ความถี่ 5.8 GHz	62
4.12 แบบรูปการแผ่กระจายแบบ 3 มิติ ของสายอากาศที่ความถี่ 5.8 GHz	63

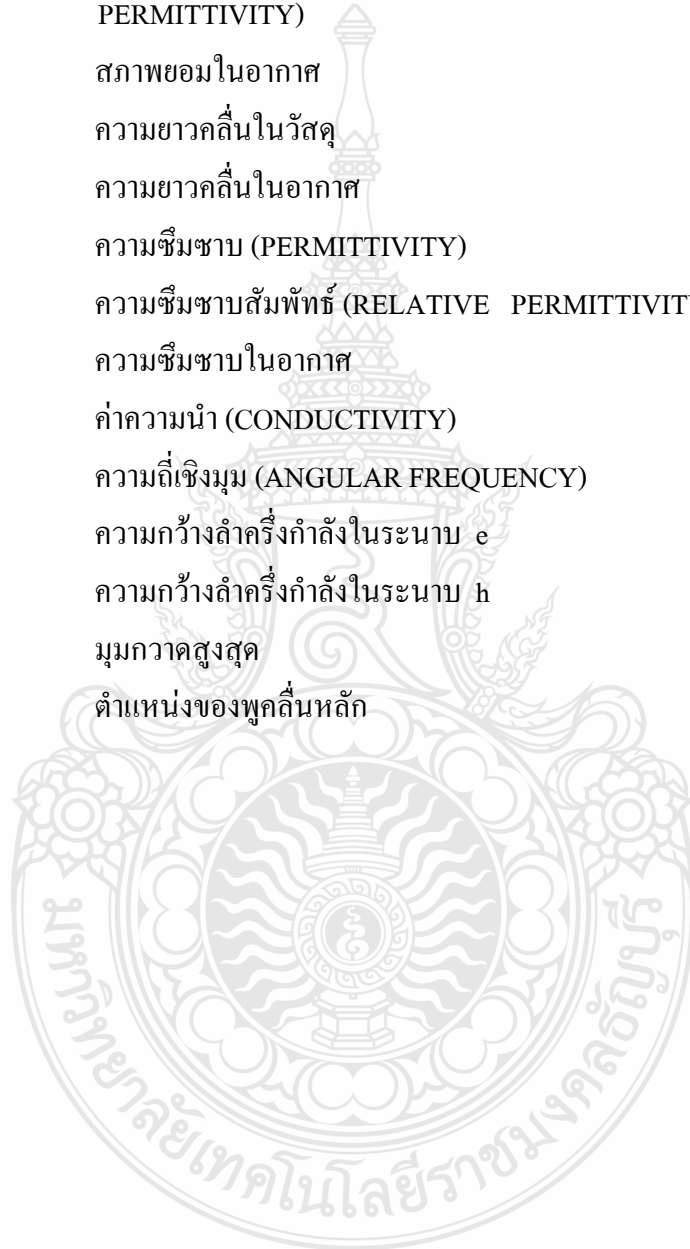


## คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

$C, C_p$	ตัวเก็บประจุ (CAPACITOR)
$c$	ความเร็วแสง (SPEED OF LIGHT)
$d, d', d_x, d_y$	ระยะห่างระหว่างสายอากาศ
$E$	สนามไฟฟ้า (ELECTRIC FIELD)
$\hat{E}_t$	เวกเตอร์สนามไฟฟ้า (ELECTRIC FIELD VECTOR)
$E_x, E_y, E_z$	ส่วนประกอบของสนามไฟฟ้า $\hat{E}$ ในระบบพิกัดฉาก
$E_r, E_\theta, E_\phi$	ส่วนประกอบของสนามไฟฟ้า $\hat{E}$ ในระบบพิกัดทรงกลม
$F, \hat{F}$	เวกเตอร์โพเทนเชียลไฟฟ้า (ELECTRIC VECTOR POTENTIAL)
$F_r, F_\theta, F_\phi$	ส่วนประกอบของ $F'$ ในระบบพิกัดทรงกลม
$f_r, f_o$	ความถี่เรโซแนนซ์ (RESONANT FREQUENCY)
$G$	ค่าความนำ (CONDUCTANCE)
$H$	สนามแม่เหล็ก (MAGNETIC FIELD)
$\hat{H}$	เวกเตอร์สนามแม่เหล็ก (MAGNETIC FIELD VECTOR)
$H_x, H_y, H_z$	ส่วนประกอบของสนามไฟฟ้า $\hat{H}$ ในระบบพิกัดฉาก
$h$	ความหนาของซับสเตรต (THICKEST OF SUBSTRATE)
$J, \hat{J}, J_s$	ความหนาแน่นกระแส (CURRENT DENSITY)
$M, \hat{M}, M_s$	ความหนาแน่นกระแสแม่เหล็ก (MAGNETIC CURRENT DENSITY)
$Q$	ตัวเลขบอกคุณภาพ (QUALITY FACTOR)
$Q_t$	ตัวเลขบอกคุณภาพรวม (TOTAL QUALITY FACTOR)
$R_{in}$	ความต้านทานของแพทช์ที่อินพุต
$r, r', r_1, r_2$	รัศมีของระยะทาง
$S$	ผิวหน้า (SURFACE)
$TM$	สนามแม่เหล็กตามขวาง (TRANSVERSE MAGNETIC)
$t$	ความหนาของตัวนำ
$\tan \delta$	แทนเจนต์การสูญเสียของวัสดุ (LOSS TANGENT)
$V_0$	แรงดันตกคร่อมระหว่างแพทช์และแผ่นกราวด์
$VSWR$	อัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดัน (VOLTAGE STANDING WAVE RATIO)
$X$	ค่ารีแอกแตนซ์ (REACTANCE)
$Z, Z_c, Z_1, Z_2$	อิมพีแดนซ์คุณลักษณะ (CHARACTERISTIC IMPEDANCE)

## คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

$\epsilon$	สภาพยอม (PERMITTIVITY)
$\epsilon_r$	สภาพยอมสัมพัทธ์ (RELATIVE PERMITTIVITY)
$\epsilon_{eff}$	สภาพยอมสัมพัทธ์ประสิทธิผล (EFFECTIVE RELATIVE PERMITTIVITY)
$\epsilon_0$	สภาพยอมในอากาศ
$\lambda_g$	ความยาวคลื่นในวัสดุ
$\lambda_0$	ความยาวคลื่นในอากาศ
$\mu$	ความซึมซาบ (PERMITTIVITY)
$\mu_r$	ความซึมซาบสัมพัทธ์ (RELATIVE PERMITTIVITY)
$\mu_0$	ความซึมซาบในอากาศ
$\sigma$	ค่าความนำ (CONDUCTIVITY)
$\omega$	ความถี่เชิงมุม (ANGULAR FREQUENCY)
$\theta_{BE}$	ความกว้างลำครึ่งกำลังในระนาบ e
$\theta_{BH}$	ความกว้างลำครึ่งกำลังในระนาบ h
$\theta_{max}$	มุมกวาดสูงสุด
$\theta_0$	ตำแหน่งของพหุคูณหลัก





# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เนื่องจากสายอากาศไมโครสตริป เป็นอุปกรณ์ชนิดหนึ่งที่มีความสำคัญในการรองรับการสื่อสารข้อมูลข่าวสารในปัจจุบันและอนาคต ตัวอย่างเช่น การสื่อสารผ่านดาวเทียม การสื่อสารไร้สาย การสื่อสารโทรศัพท์เคลื่อนที่ เป็นต้น ซึ่งระบบสื่อสารเหล่านี้จะใช้งานในย่านความถี่ไมโครเวฟและมิลลิเมตรเวฟ โดยใช้สายอากาศในการรับส่งข้อมูลข่าวสารต่าง ๆ ดังนั้นจึงได้มีการพัฒนาส่วนของการรับและการแพร่กระจายคลื่นสัญญาณให้มีความเหมาะสมเช่นเดียวกัน สายอากาศที่นิยมใช้ในย่านความถี่ไมโครเวฟและได้มีการศึกษาพัฒนาอย่างกว้างขวาง คือ สายอากาศไมโครสตริป เนื่องจากสายอากาศแบบนี้มีคุณสมบัติที่ดีหลายประการ คือ มีขนาดเล็ก น้ำหนักเบา มีรูปร่างไม่ซับซ้อน ออกแบบและสร้างได้ง่าย ราคาไม่สูงมากนัก เหมาะกับการใช้งานในย่านความถี่สูง ลักษณะโครงสร้างพื้นฐานของสายอากาศไมโครสตริปที่นิยมใช้งานกันทั่วไป ได้แก่ สายอากาศไมโครสตริปแบบไดโพล (Microstrip Dipole Antenna) สายอากาศไมโครสตริปแบบแผ่นแปะ (Microstrip Patch Antenna) สายอากาศไมโครสตริปแบบช่องเปิด (Microstrip Slot Antenna) ซึ่งสายอากาศไมโครสตริปแต่ละแบบต่างมีข้อได้เปรียบและเสียเปรียบแตกต่างกันไป การเลือกใช้สายอากาศชนิดใดขึ้นอยู่กับความเหมาะสมกับการนำไปใช้งานในแต่ละรูปแบบ สำหรับสายอากาศไมโครสตริปแบบช่องเปิดเป็นสายอากาศแบบหนึ่งที่มีความนิยม เนื่องจากออกแบบง่ายและมีรูปแบบการป้อนสัญญาณที่สามารถใช้ได้หลายรูปแบบ เช่น ท่อนำคลื่นระนาบคู่ (Coplanar Waveguide: CPW) สายโคแอกเซียลโพรบ (Coaxial Probe) และไมโครสตริปไลน์ (Microstrip Line) เป็นต้น ในการออกแบบถ้าออกแบบเพื่อรองรับเพียงหนึ่งมาตรฐานแถบความถี่ เช่น มาตรฐานความถี่ IEEE 802.11 b/g ไม่ค่อยยุ่งยากเท่าไรนัก แต่เมื่อออกแบบสายอากาศเพื่อรองรับสองมาตรฐานแถบความถี่หรือมากกว่า เช่น IEEE 802.11 b/g/a (สองมาตรฐานความถี่), IEEE 802.11 b/g/j/a และ IEEE 802.16 d (สี่มาตรฐานความถี่) เป็นต้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้าต้องการให้ที่แถบความถี่สูงมีแบนด์วิดท์ที่กว้างมาก ๆ ครอบคลุมความถี่ตั้งแต่ 4.9 -5.9 GHz เพื่อให้รองรับมาตรฐานความถี่ได้หลาย ๆ มาตรฐาน ก็จะต้องมีความยุ่งยากมากขึ้น

### 1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

- 1.2.1 เพื่อศึกษาการออกแบบสายอากาศไมโครสตริปโดยใช้โปรแกรม IE3D
- 1.2.2 เพื่อศึกษาการสร้าง และวัดสายอากาศแบบช่องเปิดสามตัวในสามแถบความถี่
- 1.2.3 เพื่อเปรียบเทียบผลที่ได้จากการจำลองแบบกับการสร้างจริง

### 1.3 สมมุติฐานของการศึกษา

สมมุติฐานของการศึกษาในครั้งนี้ โดยกำหนดว่า ช่องเปิดบนระนาบกราวด์ 1 ตัว รองรับมาตรฐานความถี่ 1 แถบความถี่ ช่องเปิดบนระนาบกราวด์ 2 ตัว รองรับมาตรฐานความถี่ 2 แถบความถี่ และช่องเปิดบนระนาบกราวด์ 3 ตัว รองรับมาตรฐานความถี่ 5 แถบความถี่ ดังนั้นปัญหานี้จึงเป็นปัญหาที่น่าสนใจ แทนที่จะสร้างสายอากาศหลายชิ้นเพื่อให้รองรับแต่ละมาตรฐานความถี่ ซึ่งทำให้สิ้นเปลืองวัสดุและค่าใช้จ่าย ดังนั้นเพื่อเป็นการประหยัดวัสดุที่ใช้ทำสายอากาศ ผู้วิจัยได้ทำการออกแบบสายอากาศให้รองรับแถบความถี่มาตรฐานได้ 5 แถบความถี่โดยใช้วัสดุเพียงชิ้นเดียวเท่านั้น ด้วยการออกแบบให้แถบความถี่ที่ใกล้เคียงกัน ได้แก่ Public Safety Frequency (4.94-4.99 GHz), IEEE 802.11j (4.90-5.0 GHz, 5.03-5.091 GHz), IEEE 802.11a (5.15-5.35 GHz), และ IEEE 802.11h (5.47-5.725 GHz, 5.725-5.825 GHz) รวมอยู่ในแถบความถี่เดียวกัน

### 1.4 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย

การออกแบบสายอากาศ 3 ช่องเปิดบนระนาบกราวด์ โดยมีสายส่งไมโครสตริปไลน์แยกอยู่อีกด้านหนึ่ง โดยให้ช่องเปิดแต่ละตัวรองรับมาตรฐานความถี่ต่าง ๆ ได้ ทั้งนี้จะมีการใช้ช่องเปิดแบบเส้นตรงเพื่อให้ง่ายต่อการออกแบบ ช่องเปิดตัวที่หนึ่งให้ตอบสนองต่อความถี่ต่ำ (IEEE 802.11b/g) โดยออกแบบช่องเปิดสี่เหลี่ยมผืนผ้าแคบที่มีการแทรกโลหะไว้กึ่งกลางช่องเปิด ซึ่งช่วยในการปรับความถี่ได้ ส่วนช่องเปิดตัวที่สองให้ตอบสนองต่อความถี่สูง (ประมาณ 4.8 GHz ขึ้นไป) และช่องเปิดตัวที่สามให้ตอบสนองต่อความถี่ WiMAX (3.4-3.6 GHz) ทั้งนี้ได้กำหนดความยาวของช่องเปิดทั้ง 3 ตัว ให้มีค่าความยาวคลื่นสัมพันธ์ (ความยาวคลื่นในวัสดุฐานรอง) ที่ความถี่ออกแบบ ( $\lambda_c$ ) โดยกำหนดให้ความยาวสายอากาศประมาณเท่ากับครึ่งหนึ่งของความถี่เรโซแนนซ์ที่ต้องการ และนอกจากนี้ จะทำการปรับแต่งอีกครั้งเพื่อทำให้แถบความถี่สูงมีแถบความถี่ที่กว้างมากยิ่งขึ้น (ตั้งแต่ประมาณ 4.8 GHz – 5.9 GHz หรือสูงกว่า) โดยการแทรกช่องเปิดผ่านเข้าไปในโลหะที่อยู่ตรงกลางของช่องเปิดตัวที่หนึ่ง ซึ่งจะทำให้เป็นสายอากาศที่แตกต่าง กับการออกแบบสายอากาศที่มีอยู่เดิมโดยทั่วไป ที่ใช้รูปแบบช่องเปิดธรรมดา ขนาดของสายอากาศจะเป็นตัวกำหนดความถี่เรโซแนนซ์ ดังนั้นถ้าต้องการความถี่เรโซแนนซ์เปลี่ยนไปจะต้องเพิ่มหรือลดความยาวและความกว้างของช่องเปิด ส่วนในการวิจัยครั้งนี้จะให้ความยาวและความกว้างของช่องเปิดคงที่ แต่สามารถปรับความถี่ตอบสนองได้ โดยการแทรกโลหะเข้าไปตรงกลางของช่องเปิด

ในหัวข้อวิทยานิพนธ์นี้ได้ทำการออกแบบสายอากาศที่ใช้แผ่นปริ้นท์แบบ 2 หน้า ใช้วัสดุฐานรอง (Substrate) แบบ RT/Duroid 5880 ที่มีค่าคงตัวทางไดอิเล็กตริก ( $\epsilon_r$ ) 2.2 ค่าความหนาวัสดุฐานรอง (h) 1.575 มิลลิเมตร ค่าความนำของโลหะตัวนำทองแดง ( $\sigma$ )  $5.8 \times 10^7$  s/m โดยโครงสร้างของสายอากาศเป็นแบบช่องเปิดแคบ 3 ช่องเปิดบนระนาบกราวด์ ที่ตอบสนองต่อมาตรฐานความถี่

ต่าง ๆ ตามความต้องการ ส่วนไมโครสตริปไลน์จะถูกออกแบบให้อยู่ที่ระนาบหนึ่ง ทั้งนี้ในการออกแบบเบื้องต้นจะใช้สูตรในการคำนวณค่าต่าง ๆ ดังนี้ [1]-[4]

$$\lambda_g = \frac{\lambda_0}{\sqrt{\epsilon_{eff}}} \quad (1.1)$$

$$\epsilon_{eff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left[ 1 + 12 \frac{h}{w} \right]^{-1/2} \quad (1.2)$$

เมื่อ  $\lambda_0$  คือ ความยาวคลื่นในอากาศ ที่ความถี่ออกแบบ  
(Free-space wavelength)

$\lambda_g$  คือ ความยาวคลื่นสัมพันธ์ (ความยาวคลื่นในวัสดุฐานรอง)  
(Guide Wavelength or Related to the free-space wavelength)

$\epsilon_r$  คือ ค่าคงตัวไดอิเล็กตริกของวัสดุฐานรอง  
(Relative Dielectric)

$\epsilon_{eff}$  คือ ค่าคงตัวไดอิเล็กตริกประสิทธิผล  
(Effective Dielectric Constant)

การออกแบบสายอากาศเริ่มจาก ความกว้างของไมโครสตริปไลน์ ( $w$ ) ออกแบบเพื่อแมตซ์อิมพีแดนซ์ของสายอากาศที่ 50 โอห์ม ด้วยสมการดังนี้

$$\frac{w}{h} = \frac{2}{\pi} \left\{ B - 1 - \ln(2B - 1) + \frac{\epsilon_r - 1}{2\epsilon_r} [\ln(B - 1)] + 0.39 - \frac{0.61}{\epsilon_r} \right\} \quad (1.3)$$

เมื่อ  $B = \frac{60\pi^2}{Z_0\sqrt{\epsilon_r}}$

## 1.5 ขอบเขตของการวิจัย

- 1.5.1 ศึกษาและออกแบบสายอากาศโดยใช้วัสดุฐานรองชนิด RT/Duroid 5880
- 1.5.2 ศึกษาและออกแบบสายอากาศสำหรับ 3 แถบความถี่ ที่รองรับ 5 แถบความถี่มาตรฐาน
- 1.5.3 สร้างและวัดคุณลักษณะของสายอากาศเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการจำลองแบบ

## 1.6 ขั้นตอนของการศึกษา

1.6.1 ศึกษาข้อมูลจากหนังสือและบทความที่เกี่ยวข้อง

1.6.2 ศึกษาและออกแบบสายอากาศช่องเปิดบนระนาบกราวด์ด้วยโปรแกรมจำลองการทำงาน IE3D Zeland [5]

1.6.3 สร้างสายอากาศที่ได้จากโปรแกรมจำลองการทำงาน IE3D Zeland

1.6.4 วัดคุณลักษณะของสายอากาศที่สร้างขึ้นด้วยเครื่องวิเคราะห์โครงข่าย (Network Analyzer) แล้วเปรียบเทียบผลการวัดกับการจำลองแบบที่ได้จากโปรแกรม IE3D Zeland



## บทที่ 2

# ทฤษฎีสายอากาศไมโครสตริปและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

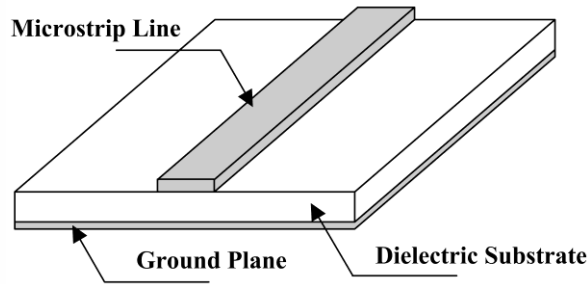
### 2.1 บทนำ

ปัจจุบันสายอากาศไมโครสตริปเป็นสายอากาศที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย โดยเฉพาะในย่านความถี่ไมโครเวฟ เนื่องจากมีคุณสมบัติเด่นบางประการ คือ มีขนาดเล็ก น้ำหนักเบา และต้นทุนต่ำ ดังนั้นจึงได้มีการทำวิจัยและพัฒนาารูปแบบของสายอากาศไมโครสตริปมาอย่างต่อเนื่อง หนึ่งในรูปแบบของสายอากาศไมโครสตริป คือ สายอากาศไมโครสตริปแบบช่องเปิด ข้อดีของสายอากาศไมโครสตริปแบบช่องเปิด คือ สามารถทำให้มีแบบรูปการแผ่พลังงานสนามระยะไกลได้ทั้งแบบทิศทางเดียว (Unidirectional) และแบบสองทิศทาง (Bidirectional) [6] อีกทั้งยังมีผลกระทบต่อ การเปลี่ยนแปลงของโพลาไรเซชัน (Polarization) น้อยกว่าสายอากาศไมโครสตริปแบบแผ่น รวมทั้ง คลอส โพลาไรเซชัน (Cross Polarization) ของสายอากาศไมโครสตริปแบบช่องเปิดมีค่าต่ำ เมื่อทำการเปรียบเทียบกันระหว่างสายอากาศไมโครสตริปแบบช่องเปิด กับสายอากาศไมโครสตริปแบบแผ่น และเนื่องจากโครงสร้างของสายอากาศไมโครสตริปแบบช่องเปิดนั้น มีการแยกสายอากาศที่เป็นช่องเปิดกับตัวป้อนสัญญาณ ซึ่งเป็นแบบไมโครสตริปไลน์อย่างอิสระต่อกันทำให้ง่ายต่อการออกแบบและง่ายต่อการทำแมตซ์อิมพีแดนซ์

### 2.2 สายส่งสัญญาณแบบไมโครสตริป

สายส่งสัญญาณแบบไมโครสตริป (Microstrip Line) [7] ที่ใช้งานอยู่โดยทั่วไปนั้นจะมีโครงสร้าง ดังที่แสดงไว้ในรูปที่ 2.1 กล่าวคือ จะมีรูปร่างเป็นสตริปหรือแถบโลหะแคบ ๆ อยู่บนวัสดุฐานรอง ซึ่งเป็นสารไดอิเล็กตริก และด้านล่างของวัสดุฐานรองจะเป็นระนาบกราวด์ พลังงานของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า จะส่งผ่านอยู่ในวัสดุฐานรองบริเวณที่อยู่ระหว่างแถบโลหะแคบ ๆ กับระนาบกราวด์ ความหนาของ วัสดุฐานรองและความกว้างของสตริปนั้น จะขึ้นอยู่กับค่าคุณลักษณะทางอิมพีแดนซ์ (Characteristic Impedance) ที่ต้องการ สำหรับวัสดุฐานรองที่ใช้งานทั่วไปจะมีอยู่หลายชนิดด้วยกัน และคุณสมบัติที่สำคัญของวัสดุฐานรองที่นำมาใช้ คือ ค่าคงตัวไดอิเล็กตริก ( $\epsilon_r$ ) ซึ่งจะเป็นค่าที่บอกถึงคุณสมบัติของ การเป็นสารไดอิเล็กตริก โดยเทียบกับอากาศว่าง ค่านี้จะส่งผลทำให้คุณลักษณะทางอิมพีแดนซ์ของ สายส่งไมโครสตริปมีการเปลี่ยนแปลง ค่า Loss Tangent ( $\tan \delta$ ) ที่ความถี่ 10 GHz คือ ค่าที่แสดง อัตราส่วนระหว่างกระแสการนำกับกระแสเสียดสเฟลซเมนต์ ซึ่งค่านี้จะแสดงให้เห็นว่าสารไดอิเล็กตริกนั้น มีการสูญเสีย เนื่องจากการนำกระแสความร้อนเพียงใด โดยที่มีค่ายิ่งต่ำก็ยิ่งดี ค่าคงตัวของการนำความร้อน (Thermal Conductivity) เป็นค่าที่แสดงให้เห็นว่าสารไดอิเล็กตริกนั้นมีความสามารถในการระบาย ความร้อนได้ดีมากน้อยเพียงใด ค่านี้ยิ่งสูงก็ยิ่งดี ค่าสุดท้ายเป็นค่าความขรุขระของผิวและความสามารถ

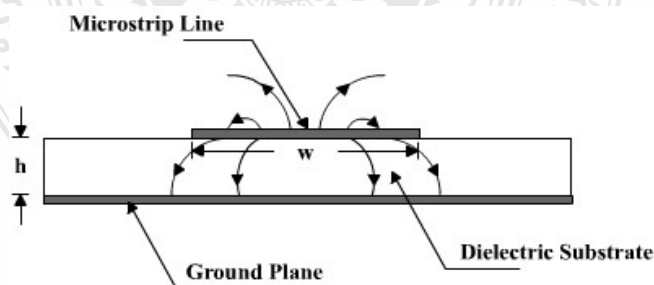
ในการทนต่อแรงดันไฟฟ้า (Dielectric Strength) ซึ่งความขรุขระของผิวนั้นจัดว่ามีความสำคัญมาก เช่นเดียวกัน เพราะจะมีผลกระทบต่อ การส่งผ่านของคลื่นไปตามไมโครสตริป เพราะฉะนั้นความขรุขระน้อยจะดีกว่าความขรุขระมาก สำหรับความสามารถในการทนต่อแรงดันไฟฟ้านั้นจะบอกถึงความสามารถในการรับกำลังคลื่นด้วย ดังนั้นค่าทนแรงไฟสูงจะดีกว่าค่าทนแรงไฟต่ำ



รูปที่ 2.1 โครงสร้างของสายส่งสัญญาณแบบไมโครสตริปไลน์

### 2.2.1 การส่งผ่านคลื่นในสายส่งไมโครสตริป

ถึงแม้ว่าสายส่งสัญญาณแบบไมโครสตริปจะมีโครงสร้างแบบง่าย ๆ แต่เมื่อทำการวิเคราะห์คุณสมบัติของสายส่งไมโครสตริปโดยละเอียดทางทฤษฎีนั้นเป็นสิ่งที่ยุ่งยากมาก ทั้งนี้เป็นเพราะเงื่อนไขขอบเขตของระบบค่อนข้างยุ่งยาก เมื่อเปรียบเทียบกับท่อนำคลื่นหรือสายส่งสัญญาณชนิดอื่น อย่างไรก็ตามได้มีผู้ทำการศึกษาทางทฤษฎี และพบว่าคลื่นที่ส่งผ่านไปตามไมโครสตริปนั้นจะใกล้เคียงกับโหมด TEM (Transverse ElectroMagnetic) มาก แต่จะไม่ใช่โหมด TEM เสียทีเดียว จึงเรียกโหมดดังกล่าวนี้ว่าโหมดกึ่ง TEM (quasi-TEM mode) [8]-[10] ซึ่งแสดงดังรูปที่ 2.2 โดยแสดงถึงเส้นแรงไฟฟ้าในระนาบตามขวางของสายส่ง



รูปที่ 2.2 เส้นแรงไฟฟ้าในระนาบตามขวางของสายส่งสัญญาณแบบไมโครสตริป

สำหรับสายส่งสัญญาณแบบไมโครสตริปนี้ คลื่นที่ส่งผ่านในโหมดกึ่ง TEM พอจะอนุโลมให้เป็นโหมด TEM ได้ โดยสามารถใช้หลักการวางจรรยาในการวิเคราะห์หาคุณลักษณะ

ของสายส่งสัญญาณแบบไมโครสตริปได้ กล่าวคือถ้าสามารถหาค่าอินดักแตนซ์และค่าคาปาซิแตนซ์ ต่อหนึ่งหน่วยความยาวได้ ก็จะนำค่าทั้งสองนี้ไปคำนวณหาค่าคุณลักษณะทางอิมพีแดนซ์ได้ อย่างไรก็ตามในการหาค่าคาปาซิแตนซ์ต่อหนึ่งหน่วยความยาวของสายส่งสัญญาณแบบไมโครสตริป จะมีความยุ่งยากมากกว่าสายส่งสัญญาณแบบคู่ขนานหรือสายโคแอกเชียล เพราะสายส่งสัญญาณแบบไมโครสตริปมีทั้งสารไดอิเล็กตริกและอากาศอยู่ในบริเวณที่พลังงานของคลื่นส่งผ่าน สำหรับการหาค่าอินดักแตนซ์ต่อหนึ่งหน่วยความยาวนั้นจะไม่ถูกรบกวนจากการมีสารไดอิเล็กตริก

ถึงแม้การหาค่าคาปาซิแตนซ์จะมีความยุ่งยากมากกว่าปกติ แต่ก็มีวิธีที่ทำได้ง่ายขึ้น โดยใช้วิธีหาค่าคงตัวไดอิเล็กตริกสัมพัทธ์ประสิทธิผล (Effective Dielectric Constant:  $\epsilon_{eff}$ ) ของระบบซึ่งจะรวมผลของสารไดอิเล็กตริกและอากาศเข้าด้วยกัน และเนื่องจากสารไดอิเล็กตริกทั้งหลายมีคุณสมบัติเปลี่ยนแปลงไปตามความถี่ ดังนั้นค่าคงตัวไดอิเล็กตริกสัมพัทธ์ประสิทธิผลที่หาได้ก็จะมีค่าเปลี่ยนแปลงตามความถี่ไปด้วย อย่างไรก็ตามจากการศึกษาทางทฤษฎีและการทดลองของผู้เชี่ยวชาญพบว่า ในช่วงความถี่ที่ต่ำกว่า 2 GHz ลงมา ค่าคงตัวไดอิเล็กตริกสัมพัทธ์ประสิทธิผลจะเปลี่ยนแปลงไปอันเนื่องมาจากกรณีของไฟฟ้าสถิตน้อยมาก จึงอนุโลมให้ใช้ค่าคงตัวไดอิเล็กตริกสัมพัทธ์ประสิทธิผลของไฟฟ้าสถิตได้ สำหรับในช่วงความถี่ที่สูงกว่า 2 GHz ก็ต้องคำนึงถึงการปรับแต่งค่าคงตัวไดอิเล็กตริกสัมพัทธ์ประสิทธิผลให้เหมาะสมกับความถี่ที่ใช้งาน

ในการหาค่าคงตัวไดอิเล็กตริกสัมพัทธ์ประสิทธิผลของกรณีไฟฟ้าสถิตนั้น จะใช้แนวคิดของวงจรกระจายดังต่อไปนี้ คือ เมื่อคลื่นที่ส่งผ่านไปไมโครสตริปเป็นโหมด TEM คุณลักษณะทางอิมพีแดนซ์ ( $Z_0$ ) ของสายส่งสัญญาณ จะเขียนในรูปของค่าอินดักแตนซ์ (L) ต่อหนึ่งหน่วยความยาว และค่าคาปาซิแตนซ์ ( $C_0$ ) ต่อหนึ่งหน่วยความยาวได้ในรูปต่อไปนี้

$$Z_0 = \sqrt{\frac{L}{C_0}} \quad (2.1)$$

โดยที่  $Z_0$  เป็นอิมพีแดนซ์ทางอากาศว่าง (Free space impedance)  
 $C_0$  เป็นคาปาซิแตนซ์เมื่อวัสดุฐานรองเป็นอากาศ

ในขณะเดียวกันความเร็วเฟส (Phase Velocity:  $v_p$ ) จะเขียนได้เป็น

$$v_p = \frac{1}{\sqrt{LC_0}} \quad (2.2)$$

จากสมการ (2.2) นี้ทำให้เขียน  $Z_0$  ในรูปของ  $v_p$  กับ L หรือ  $C_0$  ได้ดังนี้

$$Z_0 = v_p L \quad (2.3)$$

ในขั้นต่อไปจะทำการพิจารณา กรณีที่วัสดุฐานรองที่เป็นสารไดอิเล็กตริกถูกเอาออกไปเหลือแต่อากาศเพียงอย่างเดียวเท่านั้นที่โอบล้อมสายส่งสัญญาณแบบไมโครสตริปอยู่ ซึ่งในสภาพเช่นนี้ ค่าความเร็วเฟสของคลื่น TEM ที่ส่งผ่านจะมีค่าเท่ากับความเร็วแสง และค่าคาปาซิแตนซ์ต่อหนึ่งหน่วยความยาวจะเปลี่ยนไป โดยที่ค่าอินดักแตนซ์ไม่ถูกรบกวน ถ้าให้ค่าคาปาซิแตนซ์ที่เปลี่ยนไปนี้มีค่าเป็น  $C$  จะได้ความสัมพันธ์ระหว่าง  $C$  กับความเร็วเฟสในรูปต่อไปนี้

$$v_c = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad (2.4)$$

ในขณะเดียวกันค่าคุณลักษณะทางอิมพีแดนซ์ ( $Z_c$ ) ก็จะเขียนได้ดังนี้

$$Z_c = \sqrt{\frac{L}{C}} \quad (2.5)$$

เมื่อนำสมการ (2.4) หาค่าด้วยสมการ (2.2) จะได้ผลดังนี้

$$\frac{C_0}{C} = \left(\frac{C_0}{v_p}\right)^2 \quad (2.6)$$

ตามนิยามโดยทั่วไปค่าของ  $C_0/C$  เป็นค่าคงตัวไดอิเล็กตริกสัมพัทธ์ประสิทธิผลของสารไดอิเล็กตริกที่โอบล้อมระบบเก็บประจุอยู่ ค่านี้จะเปรียบเสมือนค่าคงตัวไดอิเล็กตริกสัมพัทธ์ประสิทธิผลของสายส่งสัญญาณแบบไมโครสตริปที่มีวัสดุฐานรองเป็นสารไดอิเล็กตริก และด้านบนเป็นอากาศอยู่ นั่นคือ

$$\epsilon_{eff} = \left(\frac{C}{v_p}\right)^2 \quad (2.7)$$

จากสมการ (2.3) ถึงสมการ (2.7) สามารถเขียนความสัมพันธ์ระหว่าง  $Z_c, Z_0$  และ  $\epsilon_{eff}$  ได้ดังนี้

$$Z_c = \frac{Z_0}{\sqrt{\epsilon_{eff}}} \quad (2.8)$$

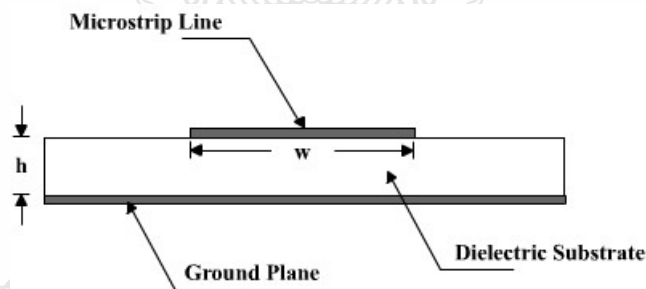
$$Z_0 = Z_c \sqrt{\epsilon_{eff}} \quad (2.9)$$

$$\epsilon_{eff} = \left(\frac{Z_0}{Z_c}\right)^2 = \frac{C}{C_0} \quad (2.10)$$

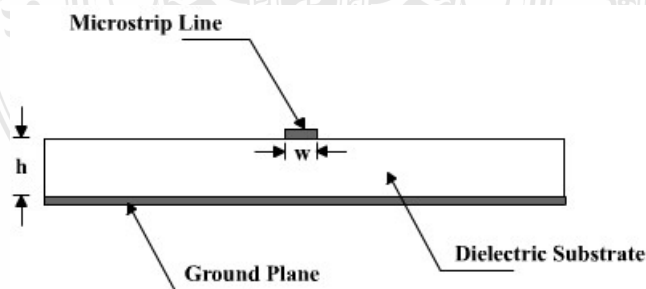


$$\text{เมื่อ } C = \frac{\sqrt{\epsilon_{eff}}}{v_c Z_0}$$

จากสมการที่กล่าวมาข้างต้น ถ้ารู้ค่าคงตัวไดอิเล็กตริกสัมพัทธ์ประสิทธิผล ก็จะหา  
สามารถคำนวณคุณสมบัติอื่นตามมาได้ อย่างไรก็ตามค่าคงตัวไดอิเล็กตริกสัมพัทธ์ประสิทธิผลจะ  
เปลี่ยนแปลง ตามความกว้างของไมโครสตริป เมื่อเปรียบเทียบกับความหนาของวัสดุฐานรอง ซึ่ง  
พิจารณาได้ 2 กรณี ดังต่อไปนี้ กรณีแรกคือกรณีที่  $w/h \gg 1$  แสดงไว้ดังรูปที่ 2.3 ในกรณีนี้เส้นแรง  
ไฟฟ้าส่วนใหญ่จะอยู่ระหว่างบริเวณที่มีแถบสตริปกับระนาบกราวด์ สภาพดังกล่าวจะส่งผลให้ค่าคง  
ตัวไดอิเล็กตริกสัมพัทธ์ประสิทธิผลมีค่าเข้าใกล้ค่า  $\epsilon_r$  ของวัสดุฐานรอง สำหรับกรณีที่สองคือกรณีที่  
 $w/h \ll 1$  แสดงดังรูปที่ 2.4 ในกรณีนี้เส้นแรงไฟฟ้าจะผ่านวัสดุฐานรองครึ่งหนึ่งและผ่านอากาศ  
ครึ่งหนึ่ง ซึ่งจะทำให้ค่าคงตัวไดอิเล็กตริกสัมพัทธ์ประสิทธิผลมีค่าเข้าใกล้  $(\epsilon_r + 1)/2$  จากที่อธิบายมา  
นี้ จะเห็นได้ว่า ค่าคงตัวไดอิเล็กตริกสัมพัทธ์ประสิทธิผลจะเปลี่ยนแปลง ไปตามค่า  $w/h$  ดังนั้นจึงได้ค่า  
คงตัวไดอิเล็กตริกสัมพัทธ์ประสิทธิผลที่สามารถออกแบบได้ดังสมการที่ (2.11)



รูปที่ 2.3 สายส่งไมโครสตริปที่มี  $w/h \gg 1$



รูปที่ 2.4 สายส่งไมโครสตริปที่มี  $w/h \ll 1$

$$\frac{1}{2} (\epsilon_r + 1) \leq \epsilon_{eff} \leq \epsilon_r \quad (2.11)$$

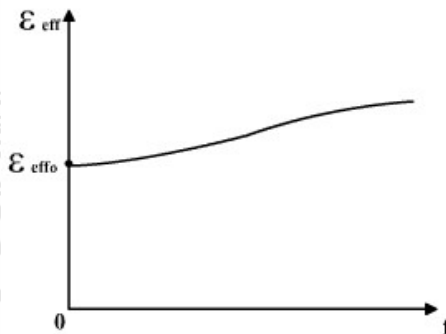
และเพื่อความสะดวกในการคำนวณและการออกแบบต่อไป ได้มีการเขียนค่าคงตัวไดอิเล็กตริกสัมพัทธ์ประสิทธิผลในรูปต่อไปนี้

$$\epsilon_{eff} = 1 + q(\epsilon_r - 1), \quad \frac{1}{2} \leq q \leq 1 \quad (2.12)$$

ค่า  $q$  ในสมการ (2.12) นี้ถูกเรียกว่าฟิลลิงแฟกเตอร์ (Filling factor) ซึ่งหมายถึงตัวประกอบที่แสดงให้รู้ว่าวัสดุฐานรองที่เป็นสารไดอิเล็กตริก จะมีผลต่อโครงสร้างไมโครสตริปนั้นมากน้อยแค่ไหน เมื่อเขียนค่าคงตัวไดอิเล็กตริกสัมพัทธ์ประสิทธิผลตามสมการ (2.12) ค่าของ  $q$  ก็จะเป็นค่าที่เปลี่ยนแปลงตามค่า  $w/h$

ในกรณีที่ความถี่ใช้งานสูงกว่า 2 GHz จะได้ค่าคงตัวไดอิเล็กตริกสัมพัทธ์ประสิทธิผลที่เปลี่ยนแปลงไปตามความถี่ ซึ่งจะเห็นได้ว่าเมื่อความถี่เปลี่ยนไปความเร็วเฟสก็จะเปลี่ยนไปด้วย ซึ่งทำให้ได้ดังสมการ (2.13)

$$\epsilon_{eff}(f) = \left( \frac{C}{v_p(f)} \right)^2 \quad (2.13)$$



รูปที่ 2.5 ตัวอย่างการเปลี่ยนแปลงตามความถี่ของค่าไดอิเล็กตริกสัมพัทธ์ประสิทธิผล

เมื่อพิจารณาค่าคงตัวไดอิเล็กตริกสัมพัทธ์ประสิทธิผลตามสมการที่ (2.13) จะพบว่าในช่วงความถี่ต่ำ ค่าคงตัวไดอิเล็กตริกสัมพัทธ์ประสิทธิผลจะลู่เข้าหา กรณีของไฟฟ้าสถิต และเมื่อความถี่มีค่าสูงขึ้นเข้าหาค่าอนันต์ จะทำให้ค่าคงตัวไดอิเล็กตริกสัมพัทธ์ประสิทธิผลลู่เข้าสู่  $\epsilon_r$  ของวัสดุฐานรอง เพราะความเร็วเฟสจะลู่เข้าสู่ความเร็วของแสงในสารไดอิเล็กตริกที่เป็นวัสดุฐานรอง ซึ่งโดยทั่วไปการเปลี่ยนแปลงค่าคงตัวไดอิเล็กตริกสัมพัทธ์ประสิทธิผลตามความถี่จะเป็นไปตามรูปที่ 2.5 โดยค่าคงตัวไดอิเล็กตริกสัมพัทธ์ประสิทธิผลนั้นจะสูงขึ้นตามความถี่

ในกรณี  $w/h < 1$  จะได้ไลน์อิมพีแดนซ์ (Line impedance :  $Z_0$ ) [11]

$$Z_0 = \frac{Z_f}{2\pi\sqrt{\epsilon_{eff}}} \ln\left(8\frac{w}{h} + \frac{w}{4h}\right) \quad (2.14)$$

โดยที่  $Z_f$  คืออิมพีแดนซ์ในอากาศว่าง (Impedance in free space)

$$= \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} = 376.8 \text{ โอห์ม}$$

$$\mu_0 = \text{Permeability in vacuum} = 4\pi \times 10^{-7} \text{ H/m}$$

$$\epsilon_0 = \text{Permittivity in vacuum} = 8.85418 \times 10^{-12} \text{ F/m}$$

$$\epsilon_{eff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left[ \left(1 + 12\frac{h}{w}\right)^{-1/2} + 0.04\left(1 - \frac{w}{h}\right)^2 \right] \quad (2.15)$$

ในกรณี  $w/h > 1$  จะได้

$$Z_0 = \frac{Z_f}{\sqrt{\epsilon_{eff}} \left(1.393 + \frac{w}{h} + \frac{2}{3} \ln\left(\frac{w}{h} + 1.44\right)\right)} \quad (2.16)$$

$$\epsilon_{eff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left(1 + 12\frac{h}{w}\right)^{-1/2} \quad (2.17)$$

โดยทั่วไปสายส่งไมโครสตริปไลน์ คำนวณหาค่าอิมพีแดนซ์ได้จาก[1]

$$Z_0(\Omega) = \frac{87}{\sqrt{\epsilon_r + 1.41}} \ln\left(\frac{5.98}{0.8w + T}\right) \quad (2.18)$$

โดยที่ T คือ ความหนาของแผ่นตัวนำ

คำนวณความถี่เรโซแนนซ์

$$f_r = \frac{C}{2\sqrt{\epsilon_{eff}} \left(\lambda_0 / 2\sqrt{\epsilon_{eff}}\right)} \quad (2.19)$$

โดยที่ C = Capacitance (PF/in)

$$= \frac{0.67(\epsilon_r + 1.41)}{\ln[5.98h / (0.8w + T)]} \quad (2.20)$$

การคำนวณหาความเร็วเฟสของช่องเปิด (Strip line) ได้ดังนี้

$$v_p = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_{eff}}} \quad (2.21)$$

โดยที่  $c$  เป็นความเร็วเฟส (Speed of light)  
 $f$  เป็นความถี่ที่ใช้งาน (Operating frequency)

จะได้ 
$$\lambda = \frac{v_p}{f} = \frac{c}{f\sqrt{\epsilon_{eff}}} = \frac{\lambda_0}{\sqrt{\epsilon_{eff}}}$$

สูตรที่ใช้โดยทั่วไป คือ 
$$\lambda_g = \frac{\lambda_0}{\sqrt{\epsilon_{eff}}} \quad (2.22)$$

ในกรณี  $w/h \leq 2$  จะได้ความสัมพันธ์ดังสมการ

$$\frac{w}{h} = \frac{8e^A}{e^{2A} - 2} \quad (2.23)$$

เมื่อ 
$$A = 2\pi \frac{Z_0}{Z_f} \sqrt{\frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{\epsilon_r} \left( 0.23 + \frac{0.11}{\epsilon_r} \right)} \quad (2.24)$$

ในกรณี  $w/h \geq 2$  จะได้ความสัมพันธ์ดังสมการ

$$\frac{w}{h} = \frac{2}{\pi} \left\{ B - 1 - \ln(2B - 1) + \frac{\epsilon_r - 1}{2\epsilon_r} [\ln(B - 1)] + 0.39 - \frac{0.61}{\epsilon_r} \right\} \quad (2.25)$$

เมื่อ 
$$B = \frac{60\pi^2}{Z_0\sqrt{\epsilon_r}} \quad (2.26)$$

### 2.2.2 Skin Effect

Skin Effect เป็นการสูญเสียรูปแบบหนึ่งของสายนำสัญญาณ คือเมื่อความถี่สูงขึ้น กระแสจะไหลน้อยในบริเวณจุดศูนย์กลางของตัวนำ กระแสส่วนใหญ่จะไหลบริเวณผิวของตัวนำ

ตัวอย่าง Skin Effect เปรียบเทียบระหว่างความถี่กับค่าระยะความลึกเชิงผิว (Skin Depth) จะได้ว่า ยิ่งความถี่สูงขึ้น ความลึกจะลดลงดังสมการที่ (2.27)

$$\delta = \frac{1}{\sqrt{\pi f \mu \sigma}} \quad (2.27)$$

โดยที่  $\delta$  (delta) เป็นค่าระยะความลึกเชิงผิว (Skin Depth)

$\mu$  (mu) เป็นค่าการซึมผ่าน (Permeability,  $\mu = \mu_r \mu_0$ )

$\sigma$  (sigma) เป็นค่าการนำไฟฟ้า (Electric Conductivity)

เมื่อกระแสไหลเฉพาะผิวของตัวนำ จะทำให้ความต้านทานเพิ่มขึ้น ดังสมการที่ (2.28)

$$R_s = \frac{1}{w \sigma \delta} \quad \Omega/\text{m} \quad (2.28)$$

โดยที่  $R_s$  เป็นความต้านทานผิว (Surface Resistance)

$w$  เป็นความกว้างของไมโครสตริปไลน์

$$\text{และ} \quad R(f) = R_{DC} + \sqrt{f} (1+j)R_s \quad (2.29)$$

โดยที่  $R(f)$  เป็นความต้านทานเอซี (AC Resistance)

$$R_{DC} \text{ เป็นความต้านทานดีซี (DC Resistance) } = \frac{\rho \ell}{A}$$

เมื่อ  $\ell$  เป็นความยาวของตัวนำ มีหน่วยเป็นเมตร

$A$  เป็นพื้นที่หน้าตัดของตัวนำ มีหน่วยเป็นตารางเมตร

$\rho$  (rho) เป็นความต้านทานจำเพาะ (Resistivity) ของสสาร มีหน่วยเป็นโอห์ม-เมตร

ส่วนการหาอิมพีแดนซ์พื้นผิวต่อหน่วยความยาว (Surface impedance per unit length) สามารถหาได้ดังสมการที่ (2.30)

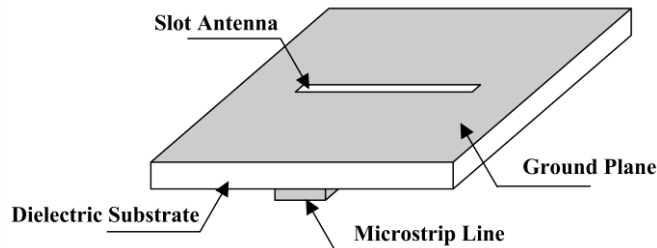
$$Z_s = R_s + j\omega L_s = \frac{1}{w \sigma \delta} + \frac{j}{w \sigma \omega \delta} \quad (2.30)$$

เมื่อ  $\omega = 2\pi f$  rad/sec

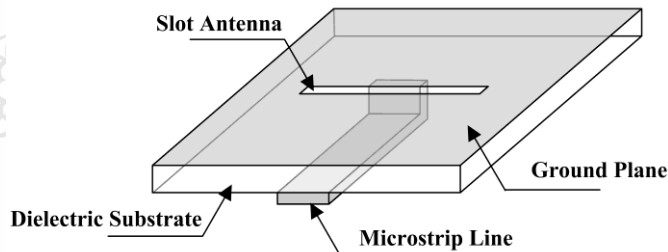
## 2.3 สายอากาศไมโครสตริปแบบช่องเปิด

### 2.3.1 โครงสร้างของสายอากาศ

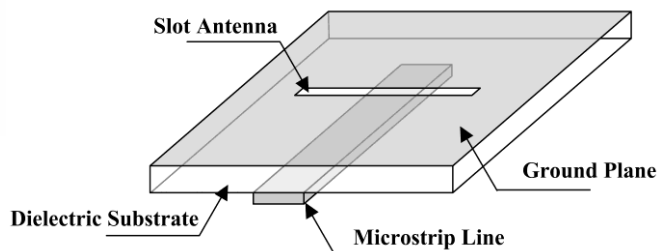
ลักษณะโครงสร้างของสายอากาศไมโครสตริปแบบช่องเปิดประกอบด้วย สายส่ง สัญญาณแบบไมโครสตริปไลน์ และสายอากาศแบบช่องเปิดวางตั้งฉากกับไมโครสตริปไลน์ โดยช่องเปิดจะอยู่บนระนาบกราวด์ มีวัสดุฐานรองเป็นตัวกั้นกลางระหว่างสายส่งสัญญาณแบบไมโครสตริปไลน์กับสายอากาศแบบช่องเปิด ดังแสดงในรูปที่ 2.6 โดยลักษณะของการส่งผ่านสัญญาณของคลื่นนั้นจะมีอยู่ 2 แบบหลัก ๆ คือ แบบปิดวงจร ซึ่งจะเป็นการต่อตัวนำจากสายส่งสัญญาณผ่านวัสดุฐานรองไปปิดวงจรที่ขอบของช่องเปิด (Microstrip Terminated in a Short Circuit) [12] ดังรูปที่ 2.7 และอีกวิธีคือ แบบเปิดวงจร (Microstrip Terminated in an Open Circuit) ซึ่งแสดงในรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.6 โครงสร้างของสายอากาศไมโครสตริปแบบช่องเปิด



รูปที่ 2.7 โครงสร้างของสายอากาศไมโครสตริปแบบช่องเปิดที่ส่งผ่านคลื่นแบบปิดวงจร



รูปที่ 2.8 โครงสร้างของสายอากาศไมโครสตริปแบบช่องเปิดที่ส่งผ่านคลื่นแบบเปิดวงจร

### 2.3.2 การแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแบบช่องเปิด

สายอากาศแบบช่องเปิดนี้ จะมีการกระจายคลื่นผ่านหลายตัวกลาง ซึ่งเกิดเนื่องมาจากแหล่งกำเนิดคลื่นนั้นอยู่ที่บริเวณหนึ่ง ส่วนคลื่นที่แพร่กระจายออกจากสายอากาศจะกระจายไปอยู่ในอีกบริเวณหนึ่งซึ่งมีตัวกลางที่ต่างกัน ดังแสดงในรูปที่ 2.9 จากรูปแสดงให้เห็นการเดินทางของคลื่นจากตัวกลางที่ 1 ไปยังตัวกลางที่ 2 โดยที่ตัวกลางที่ 1 ถูกปิดล้อมด้วยผิวปิด  $S'$  ถ้าตัวกลางที่ 1 และตัวกลางที่ 2 มีค่าคงที่ของตัวกลางไม่เหมือนกัน หรือมีค่าอินทรินสิกอิมพีแดนซ์ (Intrinsic Impedance:  $\eta$ ) ไม่เหมือนกัน เคลื่อนที่ออกจากแหล่งกำเนิดคลื่นเมื่อกระทบกับผิวขอบเขตจะเกิดการสะท้อนกลับของคลื่นเข้าสู่ตัวกลางที่ 1 ส่วนหนึ่ง และส่งผ่านคลื่นเข้าไปในตัวกลางที่ 2 อีกส่วนหนึ่ง ดังนั้นถ้าให้  $\vec{E}^i$  และ  $\vec{H}^i$  เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าตกกระทบที่เกิดจากแหล่งกำเนิดคลื่น โดยที่  $\vec{E}^r$  และ  $\vec{H}^r$  เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่เกิดจากการสะท้อนที่ผิวขอบเขต ส่วน  $\vec{E}^t$  และ  $\vec{H}^t$  เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ส่งผ่านเข้าไปในตัวกลางที่ 2 ดังนั้นในตัวกลางที่ 1 คลื่นที่ปรากฏอยู่ก็คือ ผลบวกระหว่างคลื่นตกกระทบกับคลื่นสะท้อนรวมกัน ส่วนในตัวกลางที่ 2 จะมีเพียงคลื่นที่ส่งผ่าน โดยสามารถเขียนเป็นความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$\vec{E}_t^i + \vec{E}_t^r = \vec{E}_t^t \quad (2.31)$$

$$\vec{H}_t^i + \vec{H}_t^r = \vec{H}_t^t \quad (2.32)$$

เมื่อ  $E$  คือความเข้มสนามไฟฟ้า (Electric field strength) V/m

$H$  คือความเข้มสนามแม่เหล็ก (Magnetic field strength) A/m

โดยที่ตัวห้อย  $t$  หมายถึงส่วนประกอบของสนามในแนวขนานกับผิวขอบเขต

เนื่องจากสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่ไม่ต่อเนื่องที่เกิดขึ้นตรงผิวขอบเขตนั้น เราสามารถคิดได้ว่าเกิดขึ้นเนื่องจากกระแสไฟฟ้าสมมูลย์ และกระแสแม่เหล็กสมมูลย์ที่กระจายอยู่บนขอบเขต ในรูปสมการต่อไปนี้

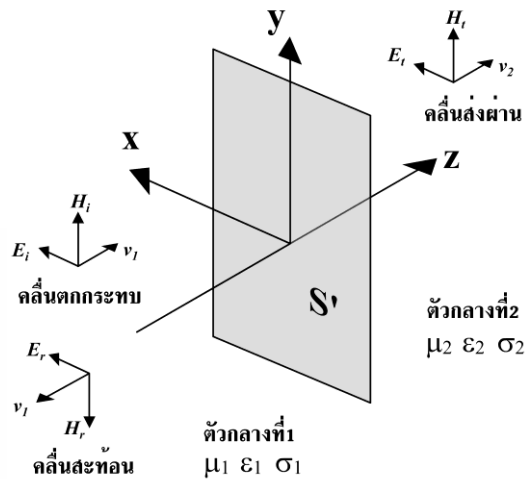
$$\vec{J} = \vec{n} \times \vec{H}_t^i \quad (2.33)$$

$$\vec{M} = -\vec{n} \times \vec{E}_t^i \quad (2.34)$$

โดยที่  $\vec{J}$  คือ กระแสไฟฟ้าสมมูลย์

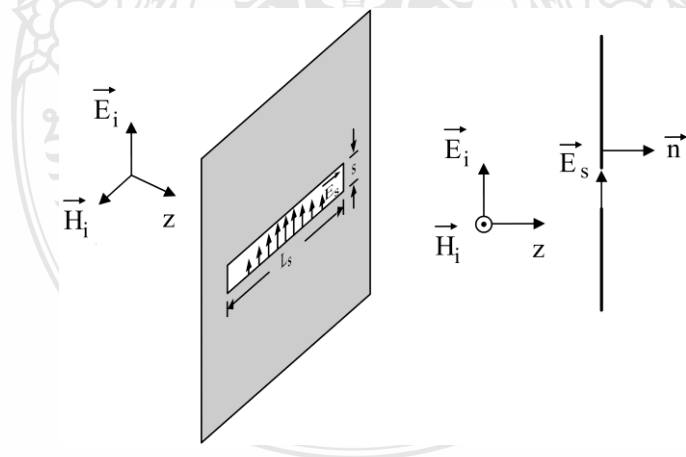
$\vec{M}$  คือ กระแสแม่เหล็กสมมูลย์

$\vec{n}$  คือ เวกเตอร์หน่วยที่ผิวขอบเขต



รูปที่ 2.9 การสะท้อนและการส่งผ่านคลื่น

เมื่อคลื่นที่เคลื่อนที่เข้ากระทบแผ่นตัวนำสมบูรณ์แบบที่มีช่องเปิดแคบ ๆ ดังรูปที่ 2.10 โดยมี ทิศของสนามไฟฟ้าตั้งฉากกับแนวของช่องเปิด และถ้าให้ความกว้างของช่องเปิด (S) มีค่าน้อย ๆ นั้นหมายความว่าช่องเปิดแคบมาก ๆ กระแสไฟฟ้าสมมูลย์ ( $\vec{J} = \vec{c} \times \vec{H}^i$ ) จะมีขนาดจำกัดและเมื่อให้ S เข้าใกล้ศูนย์ กระแสไฟฟ้าสมมูลย์ที่ว่่านี้อาจตัดทิ้งได้ เพราะเนื่องจากมีขนาดเล็กมาก แต่ส่วนที่เป็นกระแสแม่เหล็กสมมูลย์ ( $\vec{M} = -\vec{c} \times \vec{E}^i$ ) นั้นไม่สามารถที่จะตัดทิ้งได้ เพราะเมื่อ S เข้าใกล้ศูนย์ สนามไฟฟ้าที่ช่องเปิดจะถูเข้าหอนันต์จึงไม่สามารถตัดทิ้งได้



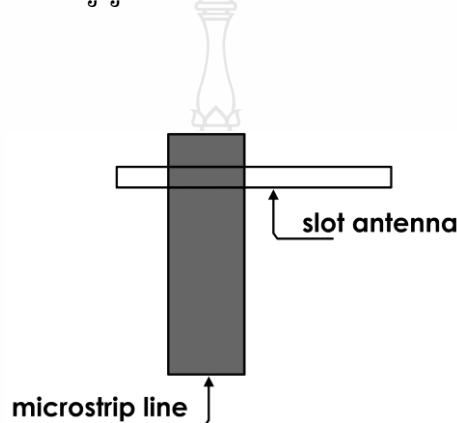
รูปที่ 2.10 การกระจายคลื่นจากช่องเปิด



### 2.3.3 การทำแมตซ์อิมพีแดนซ์ของสายอากาศแบบช่องเปิด

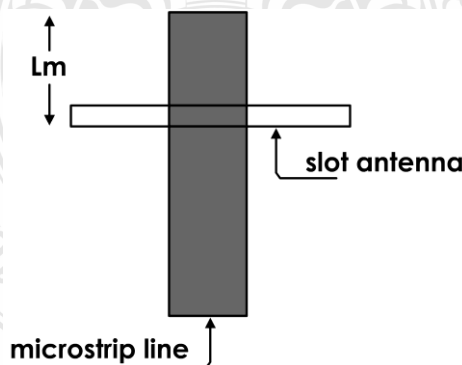
วิธีการทำแมตซ์อิมพีแดนซ์ของสายอากาศไมโครสตริปแบบช่องเปิดนั้น โดยพื้นฐานจะมีด้วยกัน 3 วิธี คือ [6]

1. วิธีเลื่อนจุดกึ่งกลางของช่องเปิดบนระนาบกราวด์ ออกจากจุดกึ่งกลางของสายส่งสัญญาณ (Offset Microstrip Feeding) [13] เป็นวิธีเลื่อนหรือเปลี่ยนตำแหน่งของจุดกึ่งกลางของช่องเปิดออกจากจุดกึ่งกลางของสายส่งสัญญาณแบบไมโครสตริปไลน์ โดยเลื่อนไปทางซ้ายหรือทางขวาเท่านั้น ดังรูปที่ 2.11



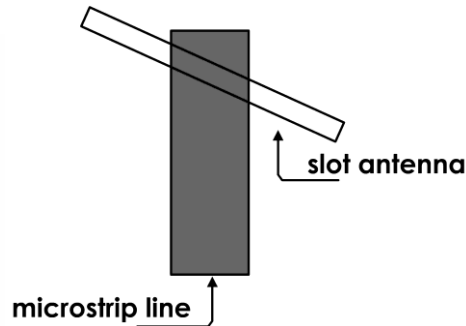
รูปที่ 2.11 วิธีการเลื่อนจุดกึ่งกลางของช่องเปิดออกจากจุดกึ่งกลางของสายส่งสัญญาณ

2. วิธีการปรับความยาวท่อนสั้น (Stub-Turning) วิธีนี้จะเป็นการเปลี่ยนขนาดความยาวของสายส่งสัญญาณ [14] จากรูปที่ 2.12 กำหนดให้  $L_m$  เป็นความยาวของท่อนสั้นที่วัดเทียบจากขอบของช่องเปิดจนถึงปลายสายส่งสัญญาณ การทำแมตซ์อิมพีแดนซ์วิธีนี้จะมีผลต่อความถี่ตอบสนองด้วย



รูปที่ 2.12 วิธีการปรับความยาวท่อนสั้น

3. วิธีการหมุนช่องเปิด (Center-fed but Inclined Microstripline Feed) วิธีการแบบนี้ เป็นวิธีการทำให้ช่องเปิดไม่ตั้งฉากกับสายส่งสัญญาณ แสดงดังรูปที่ 2.13 ซึ่งการทำแมตซ์อิมพีแดนซ์ วิธีนี้จะมีความยุ่งยากและไม่ค่อยได้รับความนิยม



รูปที่ 2.13 วิธีการหมุนช่องเปิด

## 2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.4.1 C. Chulvanich, J. Nakasuwan, N. Songthanapitak, N. Anantrasirichai, T. Wakabayashi, “Design Narrow Slot Antenna for Dual Frequency” [2] โดยออกแบบ 2 ความถี่ คือ ความถี่ต่ำ 2.44 GHz กับที่ความถี่สูงอีก 1 ความถี่ (4.995, 4.995, 5.25 หรือ 5.8 GHz) ต่างจากผลงานวิจัยที่นำเสนอใน ครั้งนี้ที่มี 3 แถบความถี่ โดยที่แถบความถี่สูงมีแบนด์วิดท์กว้าง

2.4.2 P. Raklua, N. Anantrasirichai, “A dual Band Right Angle Microstrip Slot Antenna” [3] โดยออกแบบ 2 ความถี่ คือ ความถี่ต่ำ 2.4 GHz กับที่ความถี่ 5.25 GHz เท่านั้น ต่างจากผลงานวิจัย ที่นำเสนอในครั้งนี้ที่มี 3 แถบความถี่

2.4.3 Anantrasirichai, N. ,Raklua, P. ,Wakabayachi, T. “Slot Antenna Coupled by Microstrip Line for Dual Frequency” [4] โดยออกแบบ 2 ความถี่ คือ 8 GHz กับ 9 GHz ต่างจาก ผลงานวิจัยที่นำเสนอในครั้งนี้มี 3 แถบความถี่

## 2.5 สรุป

ในบทนี้ได้กล่าวถึงทฤษฎีพื้นฐานของสายส่งสัญญาณแบบไมโครสตริป โดยได้อธิบายถึง โครงสร้างพื้นฐาน ลักษณะการส่งผ่านคลื่น นอกจากนี้ยังได้กล่าวถึงทฤษฎีของสายอากาศไมโครสตริป แบบช่องเปิด ได้แก่ คุณสมบัติทั่วไป โครงสร้างพื้นฐาน การแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศไมโครส تريปแบบช่องเปิด และอธิบายการทำแมตซ์อิมพีแดนซ์ ซึ่งสิ่งเหล่านี้เป็นพื้นฐานสำคัญในการออกแบบ และวิเคราะห์สายอากาศไมโครสตริปแบบช่องเปิดสามแถบความถี่ที่จะได้กล่าว ถึงในบทถัดไป

## บทที่ 3

# การออกแบบสายอากาศช่องเปิดสามตัวในสามแถบความถี่

### 3.1 บทนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงการออกแบบสายอากาศไมโครสตริปแบบช่องเปิดที่ป้อนสัญญาณด้วยสายนำสัญญาณไมโครสตริปไลน์จำนวนสามตัวในสามแถบความถี่ สำหรับการใช้งานในเครือข่ายไร้สาย (WLAN) และโครงข่ายเทคโนโลยีบรอดแบนด์ไร้สายความเร็วสูง (WiMAX) โดยสายอากาศทั้ง 3 ตัวนี้จะถูกออกแบบให้มีความแตกต่างของแถบความถี่ที่สามารถครอบคลุมมาตรฐานได้ 3 แถบความถี่มาตรฐาน และนอกจากนี้สายอากาศตัวที่ให้ความถี่สูงสุดจะถูกปรับปรุงให้มีแบนด์วิดท์ที่กว้างมากรองรับกับ 3 มาตรฐานความถี่ที่อยู่ในช่วงระหว่างความถี่ 4.9-5.9 GHz ดังนั้นจึงทำให้สายอากาศทั้ง 3 ตัวนี้สามารถใช้งานได้ 5 มาตรฐานความถี่ด้วยกัน ซึ่งแถบความถี่แรก คือ มาตรฐาน IEEE 802.11 b/g (2.4-2.4835 GHz) แถบความถี่ที่ 2 มาตรฐาน IEEE 802.11j (4.90-5.0 GHz, 5.03-5.091 GHz) ซึ่งรวมถึง Public Safety frequency (4.94-4.99 GHz) แถบความถี่ที่ 3 คือ มาตรฐาน IEEE 802.11a (5.15-5.35 GHz) แถบความถี่ที่ 4 คือ มาตรฐาน IEEE 802.11h (5.47-5.725 GHz, 5.725-5.825 GHz) และแถบความถี่ที่ 5 คือ มาตรฐาน WiMAX (3.4-3.6 GHz)

การออกแบบและวิเคราะห์สายอากาศจะเริ่มจากการออกแบบสายอากาศตัวแรก ให้สามารถใช้งานได้เพียงมาตรฐานความถี่เดียวในย่าน 2.4 GHz จากนั้นจะทำการออกแบบสายอากาศตัวที่สองให้สามารถใช้งานในความถี่ที่สูงขึ้นตั้งแต่ 1 มาตรฐานความถี่ ถึง 3 มาตรฐานความถี่ที่อยู่ในช่วงระหว่าง 4.9-5.9 GHz และสายอากาศตัวที่สามจะถูกออกแบบให้สามารถใช้งานได้ในอีกมาตรฐานความถี่ในย่าน 3.5 GHz เบื้องต้นของการออกแบบสายอากาศตัวที่หนึ่ง จะเป็นการวิเคราะห์โครงสร้างพื้นฐานของสายอากาศไมโครสตริปแบบช่องเปิดรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าแบบแคบ ที่มีขนาดความยาวของเส้นรอบรูปช่องเปิดประมาณเท่ากับความยาวคลื่นสัมพันธ์ของความถี่ออกแบบ จากนั้นจะทำการปรับเปลี่ยนความกว้างของสายอากาศช่องเปิดให้มีความแตกต่างกันหลาย ๆ ขนาดที่ไม่กว้างมากนักเพื่อคงความเป็นช่องเปิดแบบแคบ โดยที่ความความยาวของสายอากาศเท่าเดิม ทั้งนี้เพื่อดูว่า ความยาวเส้นรอบรูปของสายอากาศช่องเปิดควรยาวเท่าไร ที่จะทำให้แบนด์วิดท์ของแถบความถี่ด้านต่ำครอบคลุมมาตรฐาน IEEE 802.11 b/g (2.4-2.4835 GHz) หลังจากนั้นจะเลือกความกว้างของช่องเปิดที่กว้างมากที่สุดซึ่งมีความถี่เรโซแนนซ์ที่สูงกว่า 2.44 GHz โดยมีแถบความถี่ครอบคลุมย่าน 2.4-2.4835 GHz มาพัฒนาเป็นสายอากาศไมโครสตริปแบบช่องเปิด ที่มีการแทรกเนื้อโลหะเข้าไปตรงกลางของช่องเปิดนี้ ทำให้กลายเป็นสายอากาศช่องเปิดแบบวงรอบสี่เหลี่ยมแคบ สายอากาศรูปแบบนี้จะสามารถทำให้มีความถี่เรโซแนนซ์เป็น 2.44 GHz ซึ่งเป็นความถี่ที่ต้องการได้ ขั้นตอนต่อไปเป็นการออกแบบสายอากาศตัวที่สอง ซึ่งเป็นสายอากาศช่องเปิดที่แคบมาก ๆ เป็นลักษณะเส้นช่องเปิดอีก

หนึ่งตัว จัดวางไว้ที่ด้านล่างของสายอากาศตัวแรก สายอากาศตัวที่สองนี้สามารถออกแบบให้เรโซแนนซ์ต่อความถี่ใด ๆ ในช่วงระหว่าง 4.9-5.9 GHz ได้ ขึ้นอยู่กับความยาวสายอากาศ ลักษณะดังกล่าวนี้จะทำให้ได้สายอากาศแบบช่องเปิดสองตัวในสองแถบความถี่มาตรฐาน สุดท้ายจะเป็นการเพิ่มสายอากาศช่องเปิดรูปมุมฉาก โดยจัดวางให้อยู่ต่ำกว่าสายอากาศช่องเปิดตัวที่สองลงมา ซึ่งเป็นการออกแบบให้เรโซแนนซ์ต่อความถี่ย่าน WiMAX (3.4-3.6 GHz) ดังนั้นจะทำให้สายอากาศทั้งสามตัวนี้สามารถใช้งานได้ในสามแถบความถี่ที่มีความกว้างเฉพาะตามมาตรฐานใช้งานได้ โดยที่สายอากาศตัวที่สองสามารถปรับขนาดความยาวเพื่อเลือกกำหนดแถบความถี่ใช้งานในช่วงความถี่ 4.9 - 6.0 GHz ได้ตามต้องการ ขั้นตอนสุดท้ายจะเป็นการขยายความกว้างของแถบความถี่สูงซึ่งเกิดจากสายอากาศตัวที่สองให้กว้างมากที่สุดที่จะทำได้และให้ครอบคลุมย่านความถี่ตั้งแต่ 4.9-5.9 GHz นั่นคือจะทำให้สายอากาศทั้งสามตัวสามารถรองรับได้ 5 ความถี่มาตรฐานพร้อมกัน

ดังนั้นในวิทยานิพนธ์นี้ จึงเป็นการออกแบบสายอากาศไมโครสตริปแบบช่องเปิดสามตัวในสามแถบความถี่ ที่ต้องการ และจะทำวิเคราะห์ด้วยการทำแมตซ์อิมพีแดนซ์เพื่อให้ค่าการสูญเสียย้อนกลับ ( $S_{11}$ ) น้อยที่สุด นอกจากนี้จะทำการปรับให้สายอากาศที่ออกแบบนี้มีอิมพีแดนซ์แบนด์วิดท์ที่ความถี่สูงให้กว้างมาก ๆ เพื่อจะได้นำไปใช้งานในเครือข่ายไร้สาย (WLAN) ได้ทุกมาตรฐาน และยังสามารถที่จะรองรับกับการใช้งานในย่านความถี่ที่สูงกว่า 6 GHz ขึ้นไป ซึ่งสายอากาศไมโครสตริปแบบช่องเปิดที่นำเสนอนี้ จะถูกนำมาทำการวิเคราะห์และจำลองผลโดยใช้วัสดุฐานรอง RT/Duroid 5880 ด้วยโปรแกรม IE3D เท่านั้น ทั้งนี้เพื่อเป็นการศึกษาคุณลักษณะของสายอากาศจากผลที่จำลองแบบได้ หลังจากนั้นจะนำโครงสร้างที่ได้จากการจำลองแบบ มาสร้างเป็นสายอากาศจริง เพื่อนำผลที่วัดได้ไปเปรียบเทียบกับผลการจำลอง

### 3.2 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการออกแบบสายอากาศ

การออกแบบสายอากาศไมโครสตริปแบบช่องเปิด เพื่อการใช้งานในเครือข่ายไร้สาย ในวิทยานิพนธ์นี้จะใช้วัสดุฐานรองชนิด RT/Duroid 5880 ซึ่งเป็นวัสดุฐานรองที่มีประสิทธิภาพสูง มีความเหมาะสมกับการใช้ในการสร้างสายอากาศที่นำไปใช้ในย่านความถี่สูง คุณสมบัติของวัสดุฐานรอง แบบ RT/Duroid 5880 มีดังนี้

ค่าคงตัวไดอิเล็กตริก	$\epsilon_r$	= 2.2
ความหนาวัสดุฐานรอง	h	= 1.575 มิลลิเมตร
ค่าความนำของวัสดุตัวนำ (ทองแดง)	$\sigma$	= $5.8 \times 10^7$ s/m
ค่าความหนาของวัสดุตัวนำ	t	= 0.017 มิลลิเมตร
ค่าตัวประกอบการกระจาย	$\tan \delta$	= 0.0009

สายอากาศที่ออกแบบบนแผ่นวงจรพิมพ์ชนิด RT/Duroid 5880 นี้จะมีโครงสร้างของสายอากาศจะอยู่บนระนาบกราวด์ที่ให้ผลรบกวนต่อความถี่มาตรฐานต่าง ๆ ตามความต้องการ ส่วนไมโครสตริปไลน์จะอยู่อีกระนาบหนึ่ง ในการออกแบบเบื้องต้นจะใช้สูตรในการคำนวณหาค่าต่าง ๆ ดังนี้

$$\lambda_g = \frac{\lambda_0}{\sqrt{\epsilon_{eff}}} \quad (3.1)$$

$$\epsilon_{eff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left[ 1 + 12 \frac{h}{w} \right]^{-1/2} \quad (3.2)$$

- เมื่อ  $\lambda_0$  คือ ความยาวคลื่นในอากาศที่ความถี่ออกแบบ  
 $\lambda_g$  คือ ความยาวคลื่นสัมพัทธ์ที่ความถี่ออกแบบ  
 $\epsilon_r$  คือ ค่าคงตัวไดอิเล็กตริกสัมพัทธ์ของวัสดุฐานรอง  
 $\epsilon_{eff}$  คือ ค่าคงตัวไดอิเล็กตริกสัมพัทธ์ประสิทธิผล

การออกแบบสายอากาศ เริ่มจากความกว้างของไมโครสตริปไลน์ ( $w$ ) ที่ออกแบบให้มีการแมตช์อิมพีแดนซ์กับสายส่งสัญญาณแบบโคแอกเชียลที่ 50 โอห์ม โดยใช้สมการดังนี้

$$\frac{w}{h} = \frac{2}{\pi} \left\{ B - 1 - \ln(2B - 1) + \frac{\epsilon_r - 1}{2\epsilon_r} [\ln(B - 1)] + 0.39 - \frac{0.61}{\epsilon_r} \right\} \quad (3.3)$$

เมื่อ  $B = \frac{60\pi^2}{Z_0\sqrt{\epsilon_r}}$

ความกว้างของไมโครสตริปไลน์และค่าคงตัวไดอิเล็กตริกสัมพัทธ์ประสิทธิผล ที่จะนำไปสู่การหาความยาวคลื่นสัมพัทธ์จะสามารถหาค่าได้โดยใช้สมการที่ (3.1)-(3.3) ผลจากการคำนวณ มีดังนี้

ความกว้างของไมโครสตริปไลน์ ( $w$ ) = 4.6 มิลลิเมตร

ค่าคงตัวไดอิเล็กตริกสัมพัทธ์ประสิทธิผล ( $\epsilon_{eff}$ ) = 1.87

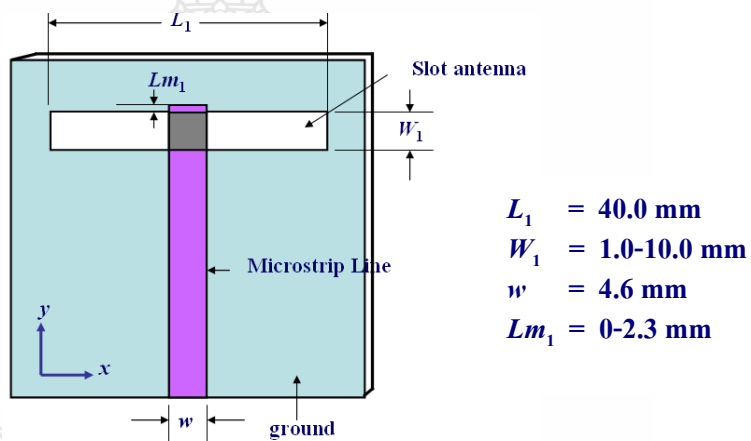
ความยาวคลื่นสัมพัทธ์ ( $\lambda_g$ ) = 89.91 มิลลิเมตร เมื่อออกแบบที่ความถี่ 2.44 GHz

### 3.3 การออกแบบสายอากาศแบบช่องเปิดสำหรับหนึ่งแถบความถี่

รูปร่างของสายอากาศแบบช่องเปิดที่ป้อนสัญญาณด้วยไมโครสตริปไลน์แบบง่าย คือรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า ในเบื้องต้นนี้จะทำการจำลองออกแบบสายอากาศโดยเลือกใช้รูปร่างพื้นฐาน คือสายอากาศช่องเปิดแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้าแคบและแบบวงรอบแคบที่ความถี่ 2.44 GHz

#### 3.3.1 การจำลองออกแบบสายอากาศช่องเปิดสี่เหลี่ยมผืนผ้าแคบ

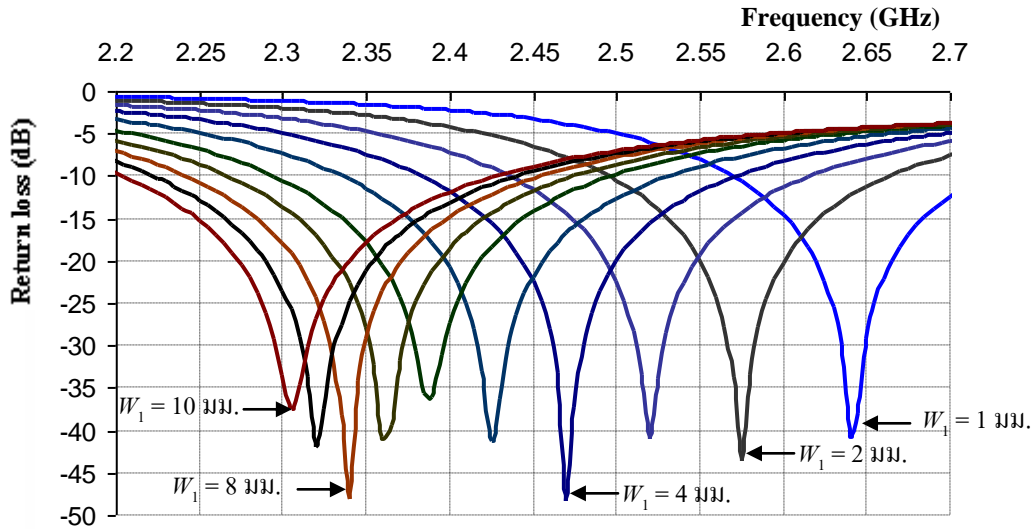
ในที่นี้จะทำการออกแบบสายอากาศช่องเปิดสี่เหลี่ยมผืนผ้าแคบที่ความถี่ 2.44 GHz โดยจำลองด้วยโปรแกรม IE3D จากการคำนวณโดยสมการที่ (3.1) และ (3.2) จะได้ความยาวคลื่นสัมพัทธ์ ( $\lambda_g$ ) ประมาณ 89.91 มิลลิเมตร และใช้ความกว้างของไมโครสตริปไลน์ตามที่คำนวณได้ คือ 4.6 มิลลิเมตร ( $\approx 0.052\lambda_g$ ) โครงสร้างของสายอากาศช่องเปิดสี่เหลี่ยมผืนผ้าแคบแสดงดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 โครงสร้างสายอากาศเบื้องต้น

- เมื่อ  $L_1$  เป็นความยาวของสายอากาศแบบช่องเปิด  
 $W_1$  เป็นความกว้างของสายอากาศแบบช่องเปิด ซึ่งจะเปลี่ยนแปลงตั้งแต่ 1.0 -10.0 มม.  
 $L_{m1}$  เป็นระยะความยาวจากขอบบนของช่องเปิดถึงปลายไมโครสตริปไลน์ (สูงกว่าขอบ)  
 $w$  เป็นความกว้างไมโครสตริปไลน์

เบื้องต้นจะจำลองผลโดยกำหนดครณะนกราวด์เป็นอนันต์ และกำหนดความยาวของช่องเปิด  $L_1$  เท่ากับ 40 มม. ( $\approx 0.445\lambda_g$ ) คงที่ จากนั้นจะทำการเปลี่ยนแปลงความกว้างของช่องเปิด  $W_1$  เพื่อดูผลกระทบที่เกิดขึ้น และเพื่อให้เป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้าแคบ ดังนั้นความกว้างช่องเปิด  $W_1$  จะเริ่มจาก 1 มม. ( $\approx 0.011\lambda_g$ ) และเพิ่มขึ้นจนถึง 10 มม. ( $\approx 0.111\lambda_g$ ) เท่านั้น โดยที่ระยะ  $L_{m1}$  จะถูกปรับแต่งเพื่อให้ได้ค่าการสูญเสียย้อนกลับ ( $S_{11}$ ) ที่น้อยที่สุด ผลการจำลองการสูญเสียย้อนกลับ ( $S_{11}$ ) แสดงในรูปที่ 3.2 และผลที่ได้จากการจำลองแบบแสดงในตารางที่ 3.1



รูปที่ 3.2 การสูญเสียย้อนกลับ เมื่อ  $W_1 = 1.0-10.0$  มิลลิเมตร

ตารางที่ 3.1 เปรียบเทียบผลจากการเปลี่ยนแปลงความกว้างช่องเปิด เมื่อ  $L_1$  เท่ากับ 40 มิลลิเมตร

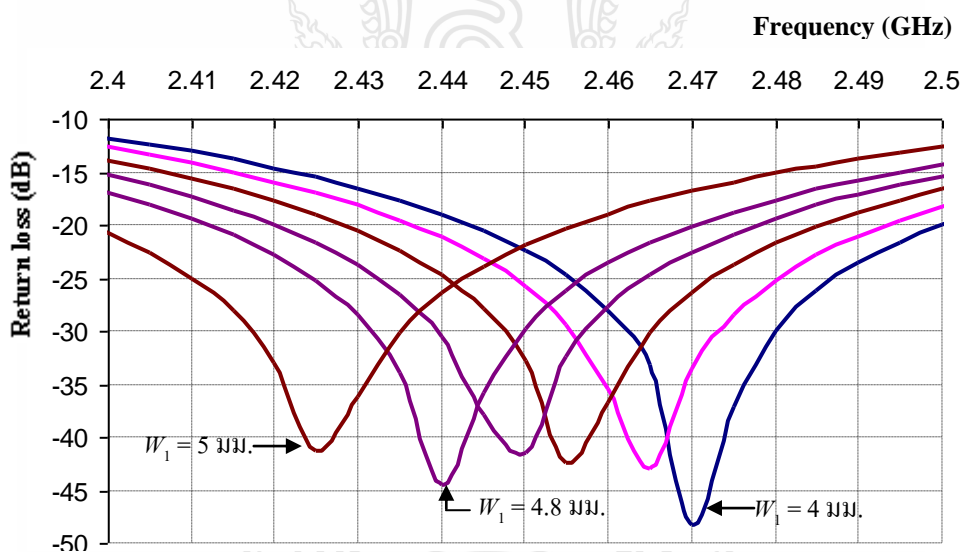
$W_1$ (mm)	$L_{m1}$ (mm)	Resonant Freq (GHz)	Bandwidth (GHz)	$S_{11}$ (dB)
1	2.30	2.64	0.150 (2.570-2.720)	-40.61
2	1.95	2.575	0.160 (2.500-2.660)	-43.52
3	1.65	2.52	0.175 (2.440-2.615)	-40.94
4	1.40	2.47	0.185 (2.385-2.570)	-48.33
5	1.20	2.425	0.190 (2.340-2.530)	-41.26
6	1.00	2.39	0.200 (2.295-2.495)	-36.03
7	0.75	2.36	0.205 (2.270-2.475)	-40.77
8	0.5	2.34	0.205 (2.245-2.450)	-48.09
9	0.25	2.32	0.220 (2.220-2.440)	-41.99
10	0	2.305	0.220 (2.205-2.425)	-37.54

ผลที่แสดงในตารางที่ 3.1 เกิดจากการเปลี่ยนแปลงความกว้างช่องเปิด ( $W_1$ ) โดยความยาว ( $L_1$ ) ของช่องเปิดคงที่ ซึ่งทุกครั้งที่เปลี่ยนค่า  $W_1$  จะต้องปรับค่า  $L_{m1}$  ทุกครั้ง ทั้งนี้เพื่อให้ค่าการสูญเสียย้อนกลับมีค่าน้อยที่สุดที่ใกล้เคียงกันจะได้เป็นมาตรฐานเดียวกันในการเปรียบเทียบ ดังจะเห็นได้ว่า เมื่อความกว้างช่องเปิด  $W_1$  มีค่ามากขึ้นระยะ  $L_{m1}$  จะลดลง และจะเป็นศูนย์เมื่อ  $W_1 = 10.0$  มิลลิเมตร ส่วนความถี่เรโซแนนซ์ (Resonant Frequency) จะลดต่ำลงเมื่อความกว้างช่องเปิด  $W_1$  มีค่า

มาก ขณะเดียวกันความกว้างของแบนด์วิดท์ก็จะเพิ่มมากขึ้น ตามค่าความกว้างของช่องเปิดที่มากขึ้น สำหรับค่าการสูญเสียย้อนกลับ (Return Loss:  $S_{11}$ ) จะแสดงอยู่ในช่องสุดท้ายของตาราง

เมื่อ  $W_1$  กว้าง 1 มิลลิเมตร จะให้ความถี่เรโซแนนซ์ 2.64 GHz และเมื่อ  $W_1$  กว้างมากขึ้นความถี่เรโซแนนซ์ที่เกิดขึ้นก็จะลดลงไปเรื่อย ๆ ที่เป็นเช่นนี้ก็เพราะสายอากาศมีขนาดใหญ่ขึ้น (วัดจากเส้นรอบรูป) ซึ่งความถี่เรโซแนนซ์ที่ต้องการคือ ประมาณ 2.44 GHz ถ้าพิจารณาจากผลลัพธ์ที่แสดงในตารางที่ 3.1 พบว่า จะไม่มีค่าความกว้าง  $W_1$  ใด ๆ ที่จะให้ความถี่ตามที่ต้องการได้ แต่จะมีอยู่สองค่าของ  $W_1$  ที่จะใกล้เคียงคือ 4.0 มิลลิเมตร และ 5.0 มิลลิเมตร ดังนั้นถ้าจะให้ได้ความถี่เรโซแนนซ์ที่ 2.44 GHz ก็จะต้องปรับความกว้าง  $W_1$  ใหม่ให้อยู่ในช่วงระหว่าง 4.0-5.0 มิลลิเมตร หรืออาจใช้วิธีเปลี่ยนความยาวของช่องเปิด ( $L_1$ ) โดยเลือกใช้ความกว้าง  $W_1$  ที่ 4.0 มิลลิเมตร หรือ 5.0 มิลลิเมตร และปรับ  $L_{m1}$  ให้เหมาะสม

ดังนั้นในการทำให้ได้ความถี่เรโซแนนซ์เท่ากับ 2.44 GHz จึงขอเลือกใช้วิธีเปลี่ยนความกว้างช่องเปิด  $W_1$  ให้มากกว่า 4.0 มิลลิเมตรแทนโดยคงความยาวของช่องเปิด ( $L_1$ ) ให้เท่ากับ 40 มิลลิเมตร และจะทำการปรับ  $L_{m1}$  ทุกครั้งที่มีการเปลี่ยนค่า  $W_1$  เพื่อให้ได้ผลการสูญเสียย้อนกลับที่น้อยที่สุด ผลการจำลองการสูญเสียย้อนกลับ ( $S_{11}$ ) จะแสดงในรูปที่ 3.3 และผลการจำลองแสดงในตารางที่ 3.2



รูปที่ 3.3 การสูญเสียย้อนกลับ เมื่อ  $W_1 = 4.0-5.0$  มิลลิเมตร



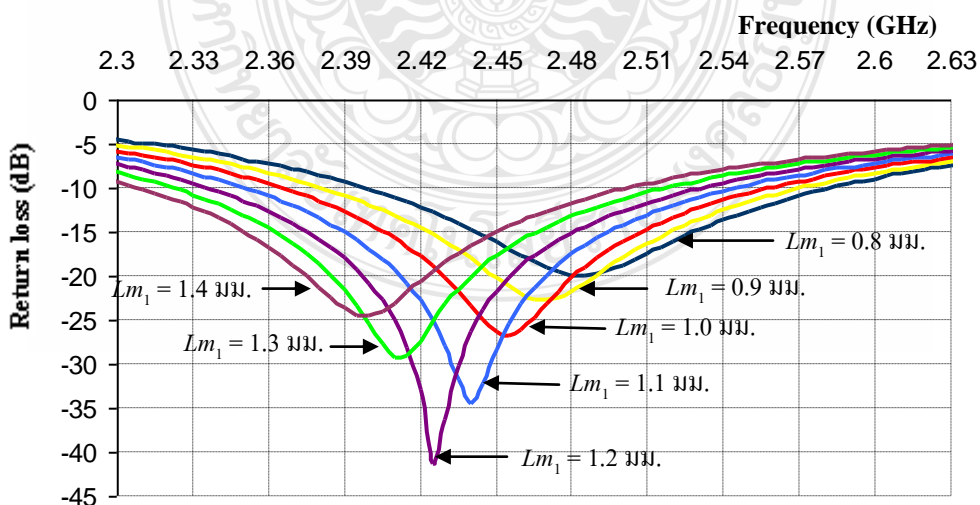
ตารางที่ 3.2 ผลจากการเปลี่ยนแปลงความกว้างช่องเปิด  $W_1$  ระหว่าง 4 มิลลิเมตร ถึง 5 มิลลิเมตร

$W_1$ (mm)	$Lm_1$ (mm)	Resonant Freq (GHz)	Bandwidth (GHz)	$S_{11}$ (dB)
4.0	1.40	2.47	0.185 (2.385-2.570)	-48.33
4.2	1.35	2.465	0.185 (2.380-2.565)	-42.98
4.4	1.30	2.455	0.185 (2.370-2.555)	-42.48
4.6	1.25	2.45	0.190 (2.360-2.550)	-41.58
4.8	1.20	2.44	0.190 (2.355-2.545)	-44.60
5.0	1.20	2.425	0.190 (2.34-2.53)	-41.26

ผลการจำลองในรูปแบบที่ 3.3 และตารางที่ 3.2 แสดงให้เห็นได้ว่า ถ้า  $W_1 = 4.8$  มิลลิเมตร จะทำให้ความถี่เรโซแนนซ์เท่ากับ 2.44 GHz นั่นคือสายอากาศช่องเปิดนี้จะมีเส้นรอบรูปเท่ากับ 89.6 มิลลิเมตร หรือประมาณ  $0.997\lambda_g$  (เมื่อ  $\lambda_g = 89.91$  มิลลิเมตร) ดังนั้นสายอากาศช่องเปิดที่วิเคราะห์นี้เป็นสายอากาศช่องเปิดสี่เหลี่ยมผืนผ้าแคบที่ใช้งานได้ภายในย่าน WLAN IEEE 802.11 b/g

### 3.3.2 การจำลองออกแบบสายอากาศช่องเปิดวงรอบสี่เหลี่ยมผืนผ้าแคบ

ผลการจำลองที่แสดงไว้ในตารางที่ 3.2 นั้น พบว่าถ้าต้องการให้ความกว้างช่องเปิดกว้างมากที่สุดที่ยังคงให้แถบความถี่อยู่ในมาตรฐานที่ต้องการ ก็ควรเลือกใช้  $W_1 = 5.0$  มิลลิเมตร ที่มีค่า  $Lm_1 = 1.20$  มิลลิเมตร จะให้ความถี่เรโซแนนซ์ 2.425 GHz ซึ่งเป็นความถี่ที่ต่ำกว่า 2.44 GHz ที่ต้องการ เมื่อทดลองทำการปรับ  $Lm_1$  ให้มีค่าน้อยลงกว่า 1.20 มิลลิเมตร จะให้ความถี่สูงกว่า 2.425 GHz แต่ค่าการสูญเสียย้อนกลับจะไม่ต่ำที่สุด ผลการจำลองจากการปรับ  $Lm_1$  เพื่อต้องการดูเฉพาะผลของความถี่เรโซแนนซ์ที่เปลี่ยนไปสามารถดูได้จากผลการจำลองการสูญเสียย้อนกลับ ( $S_{11}$ ) ซึ่งแสดงในรูปแบบที่ 3.4 และผลจำลองเชิงตัวเลขแสดงในตารางที่ 3.3



รูปที่ 3.4 การสูญเสียย้อนกลับ เมื่อ  $W_1 = 5.0$  มิลลิเมตร และ  $Lm_1 = 0.8-1.4$  มิลลิเมตร

ตารางที่ 3.3 ผลการเปลี่ยนแปลงระยะ  $Lm_1$  เมื่อ  $L_1 = 40$  มิลลิเมตร และ  $W_1 = 5.0$  มิลลิเมตร

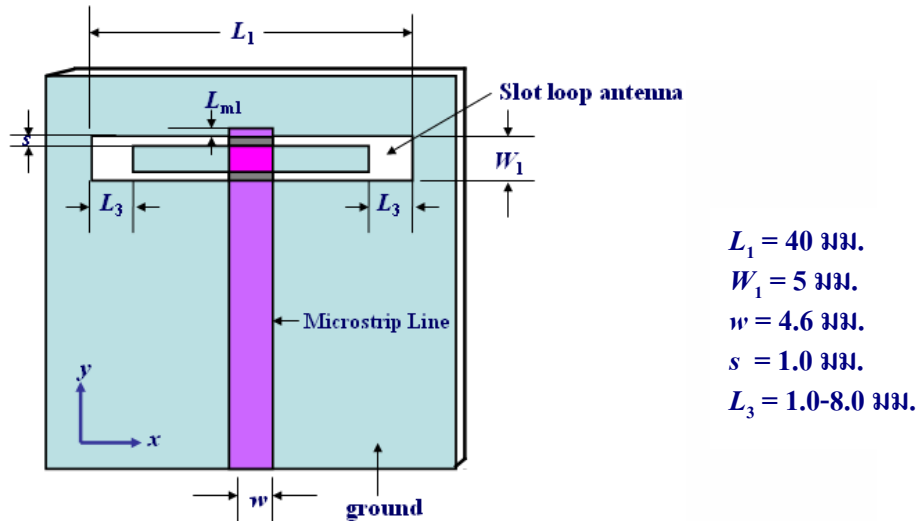
$Lm_1$ (mm)	Resonant Freq (GHz)	Bandwidth (GHz)	$S_{11}$ (dB)
0.8	2.485	0.180 (2.400-2.580)	-19.99
0.9	2.47	0.1850 (2.385-2.570)	-22.79
1.0	2.455	0.190 (2.365-2.555)	-26.9
1.1	2.44	0.190 (2.355-2.545)	-34.65
1.2	2.425	0.190 (2.340-2.530)	-41.26
1.3	2.41	0.190 (2.325-2.515)	-29.31
1.4	2.40	0.190 (2.310-2.500)	-24.63

รูปที่ 3.4 และตารางที่ 3.3 เป็นการแสดงผลการจำลองปรับค่า  $Lm_1$  ตั้งแต่ 0.8-1.4 มิลลิเมตร โดยมีความถี่เรโซแนนซ์ แถบความถี่ และค่าการสูญเสียย้อนกลับ แสดงอยู่ในช่องตาราง ถัดมาเมื่อพิจารณาที่แถวแรก  $Lm_1 = 0.8$  มิลลิเมตร ได้ความถี่เรโซแนนซ์ 2.485 GHz ซึ่งเป็นความถี่ที่สูงกว่า 2.44 GHz โดยมีค่าการสูญเสียย้อนกลับเท่ากับ -19.99 dB ซึ่งความถี่เรโซแนนซ์นี้จะค่อย ๆ ลดลงเมื่อค่า  $Lm_1$  ถูกปรับให้มากขึ้น จะเห็นว่าความถี่เรโซแนนซ์จะลดลงจาก 2.485 GHz จนถึง 2.40 GHz ตามลำดับ เมื่อ  $Lm_1 = 1.20$  มิลลิเมตร จะให้ค่าการสูญเสียย้อนกลับ ( $S_{11}$ ) ต่ำที่สุด ในเบื้องต้นนี้จะไม่คำนึงถึงค่าการสูญเสียย้อนกลับว่าต้องให้น้อยที่สุด แต่จะเป็นการแสดงให้เห็นว่า ถ้าต้องการจะปรับให้ความถี่เรโซแนนซ์เพิ่มขึ้นหรือลดลงตรงกับความต้องการโดยให้  $W_1 = 5.0$  มิลลิเมตร ก็สามารถทำได้ด้วยการปรับระยะ  $Lm_1$  แทนวิธีการลดค่าหรือเพิ่มค่าความยาวของช่องเปิด ( $L_1$ ) แต่ต้องให้ค่าการสูญเสียย้อนกลับต่ำกว่า -10 dB เพราะในทางปฏิบัติถ้าค่าการสูญเสียย้อนกลับต่ำกว่า -10 dB ก็ถือว่าใช้ได้

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จะกำหนดให้  $L_1 = 40$  มิลลิเมตร  $W_1 = 5$  มิลลิเมตร จากนั้นใช้วิธีแทรกชิ้นโลหะไว้ภายในช่องเปิดเพื่อทำให้เป็นวงรอบสี่เหลี่ยมผืนผ้าแคบ และทำการปรับ  $Lm_1$  อีกครั้ง ก็จะสามารทำให้ได้ความถี่เรโซแนนซ์ที่ 2.44 GHz ได้เช่นกัน การแทรกโลหะยาวไว้ภายในช่องเปิดแสดงดังรูปที่ 3.5 ซึ่งวิธีนี้เป็นวิธีการหนึ่งที่ทำให้อิมพีแดนซ์ของสายอากาศเปลี่ยนแปลงไป และสามารถทำให้เกิดการแมทซ์อิมพีแดนซ์ในแต่ละความถี่ได้ไม่ยากนัก โดยที่ทุกความถี่จะมีการปรับ  $Lm_1$  ให้มีค่าการสูญเสียน้อยที่สุด เหตุผลในการออกแบบช่องเปิดวงรอบแคบก็เพื่อจะได้มีพารามิเตอร์ทางขนาดเพิ่มขึ้น ทำให้การปรับแต่งความถี่เรโซแนนซ์และการแมทซ์อิมพีแดนซ์ของสายอากาศให้ง่ายขึ้นตรงกับความต้องการ

ดังนั้นจึงถือว่าสายอากาศช่องเปิดวงรอบสี่เหลี่ยมผืนผ้าแคบนี้ ถูกดัดแปลงมาจากสายอากาศช่องเปิดสี่เหลี่ยมผืนผ้าแคบที่ได้ผ่านการวิเคราะห์หามาแล้ว โดยจะต้องเลือกใช้ความกว้างช่องเปิด  $W_1$  ที่กว้างเพียงพอที่จะสามารถแทรกชิ้นโลหะไว้ภายในช่องเปิด เพื่อให้เป็นวงรอบสี่เหลี่ยม

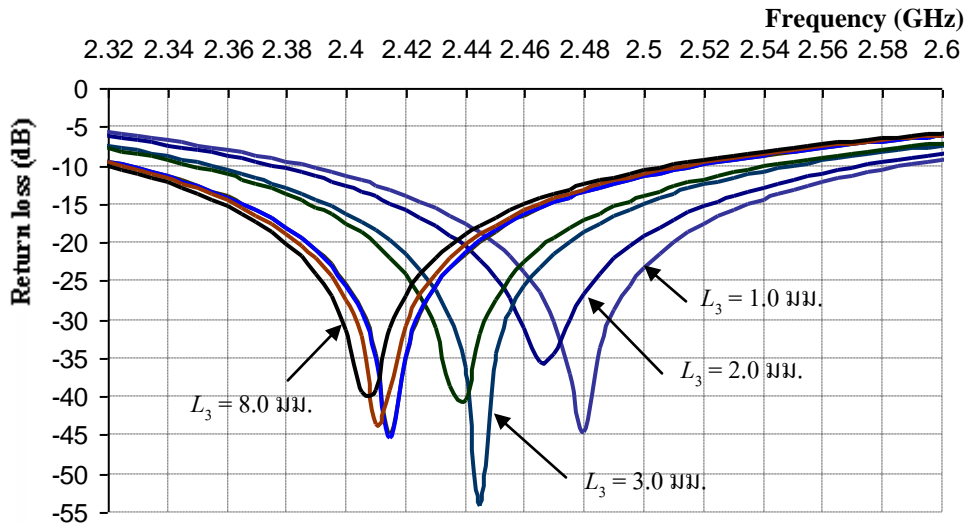
ผ้าแคบได้ นี้คือเหตุผลในการเลือกใช้ค่า  $W_1 = 5.0$  มิลลิเมตร ซึ่งเป็นค่าตัวเลขที่เหมาะสมกับการที่จะเป็นช่องเปิดวงรอบสี่เหลี่ยมผืนผ้าแคบได้ดี โครงสร้างสายอากาศแบบนี้แสดงอยู่ในรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 โครงสร้างสายอากาศช่องเปิดวงรอบสี่เหลี่ยมผืนผ้าแคบ

เมื่อ  $L_3$  เป็นความกว้างของช่องเปิดแนวตั้ง  
 $s$  เป็นความกว้างของช่องเปิดแนวนอน

สายอากาศรูปแบบนี้ จะถูกนำมาวิเคราะห์ผลที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงความกว้างช่องเปิดแนวตั้ง ( $L_3$ ) ทั้งนี้จะต้องทำการปรับระยะความยาวจากขอบบนของช่องเปิดถึงปลายไมโครสตริปไลน์ ( $L_{m1}$ ) เพื่อให้มีการแมทซ์อิมพีแดนซ์ที่ดีที่สุดในแต่ละค่าของการปรับ  $L_3$  โดยกำหนดให้ความยาวสายอากาศ ( $L_1$ ) ความกว้างสายอากาศ ( $W_1$ ) และความกว้างช่องเปิดแนวนอน ( $s$ ) มีค่าคงที่ที่ 40 มิลลิเมตร 5 มิลลิเมตร และ 1 มิลลิเมตร ตามลำดับ โดยที่  $s = 1$  มิลลิเมตร เป็นความกว้างที่เหมาะสมต่อการนำไปใช้สร้างจริง ผลการจำลองการสูญเสียย้อนกลับ ( $S_{11}$ ) จะแสดงในรูปที่ 3.6 และผลการเปลี่ยนแปลงค่า  $L_3$  และ  $L_{m1}$  แสดงในตารางที่ 3.4



รูปที่ 3.6 การสูญเสียย้อนกลับ เมื่อ  $L_3 = 1.0-8.0$  มิลลิเมตร

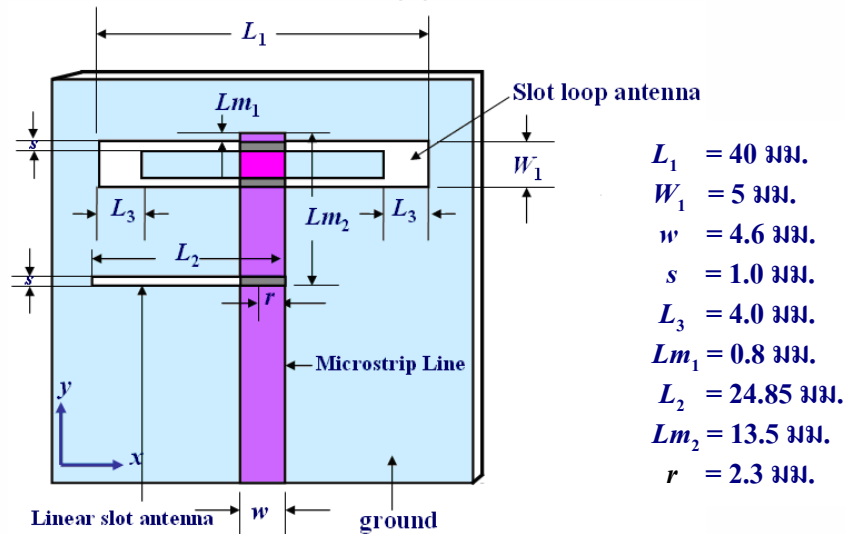
ตารางที่ 3.4 ผลการเปลี่ยนแปลงความกว้าง  $L_3$  และระยะความยาว  $L_{m1}$

$L_3$ (mm)	$L_{m1}$ (mm)	Resonant Freq (GHz)	Bandwidth (GHz)	$S_{11}$ (dB)
1.0	0.6	2.48	0.195 (2.390-2.585)	-44.62
2.0	0.7	2.465	0.195 (2.375-2.570)	-35.66
3.0	0.7	2.445	0.195 (2.355-2.550)	-54.28
4.0	0.8	2.44	0.190 (2.350-2.540)	-40.58
5.0	0.8	2.415	0.185 (2.330-2.515)	-44.8
6.0	0.8	2.415	0.185 (2.330-2.515)	-45.5
7.0	0.8	2.410	0.185 (2.325-2.510)	-43.57
8.0	0.8	2.405	0.185 (2.320-2.505)	-39.32

จากรูปที่ 3.6 และตารางที่ 3.4 จะเห็นได้ว่า เมื่อ  $L_3$  มีค่ามากขึ้นจะทำให้ความถี่เรโซแนนซ์ลดลง ขณะเดียวกันความกว้างของแบนด์วิดท์ก็มีการเปลี่ยนแปลงไปด้วย โดยจะน้อยลงเมื่อ  $L_3$  มากขึ้น เมื่อพิจารณาที่  $L_3 = 4$  มิลลิเมตร โดยที่  $L_{m1} = 0.8$  มิลลิเมตร จะได้ความถี่เรโซแนนซ์ 2.44 GHz ตามที่ต้องการ เมื่อเปรียบเทียบผลการจำลองนี้กับผลการจำลองในตารางที่ 3.3 พบว่าในขณะที่  $L_{m1} = 0.8$  มิลลิเมตรเท่ากันจะได้ความถี่เรโซแนนซ์ไม่เท่ากัน โดยในตารางที่ 3.3 จะมีความถี่เรโซแนนซ์เท่ากับ 2.485 GHz สูงกว่าผลที่แสดงในตารางที่ 3.4 นี้ แสดงว่าเมื่อแทรกชิ้นโลหะเข้าไปในช่องเปิดนี้จะสามารถทำให้ความถี่เรโซแนนซ์ลดต่ำลงมาได้โดยที่ระยะ  $L_{m1}$  เปลี่ยนค่าไม่มากนัก

### 3.4 การออกแบบสายอากาศแบบช่องเปิดสำหรับสองแถบความถี่

ในการออกแบบสายอากาศสองแถบความถี่นี้ จะใช้ผลการจำลองของสายอากาศแบบวงรอบสี่เหลี่ยมผืนผ้าแคบที่แสดงอยู่ในตารางที่ 3.4 โดยเลือกใช้ที่มีความถี่เรโซแนนซ์ 2.44 GHz ซึ่งมีค่า  $L_3 = 4$  มิลลิเมตร และ  $Lm_1 = 0.8$  มิลลิเมตร และเพิ่มสายอากาศช่องเปิดแบบแคบขนาดสั้นอีกหนึ่งตัวที่ถูกออกแบบที่ความถี่ 5.25 GHz โดยนำมาจัดวางให้อยู่ในตำแหน่งที่ต่ำกว่าสายอากาศช่องเปิดตัวแรก โครงสร้างของสายอากาศช่องเปิดสำหรับสองแถบความถี่มาตรฐานแสดงดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 โครงสร้างสายอากาศสองแถบความถี่

ที่ความถี่ออกแบบ 5.25 GHz ความยาวคลื่น  $\lambda_0 = 57.14$  มิลลิเมตร และ  $\lambda_g = 41.79$  มิลลิเมตร ดังนั้นสายอากาศตัวที่สองนี้จะประกอบด้วยพารามิเตอร์ ดังนี้

$L_2$  เป็นความยาวของช่องเปิดตัวที่สอง

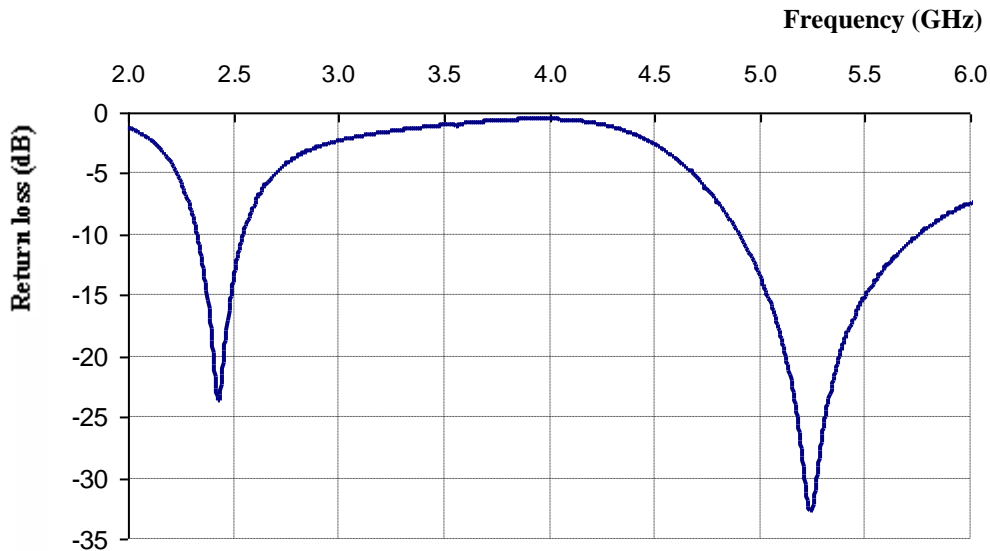
$Lm_2$  เป็นระยะวัดจากขอบล่างของช่องเปิดตัวที่สองถึงปลายไมโครสตริปไลน์

$s$  เป็นความกว้างของช่องเปิดตัวที่สอง ซึ่งเท่ากับความกว้างของช่องเปิดแนวนอนของสายอากาศตัวที่หนึ่ง

$r$  เป็นระยะทางจากจุดกึ่งกลางของสายส่งสัญญาณไปยังปลายสุดของช่องเปิดตัวที่สอง

ในที่นี้จะทดลองกำหนดความยาวช่องเปิดตัวที่สอง  $L_2 = 24.85$  มิลลิเมตร ( $0.595\lambda_g$ ) และเมื่อทำการปรับ  $Lm_2$  เพื่อให้ได้การแมตช์ที่ดีทั้งสองแถบความถี่ ซึ่งพบว่า ที่ระยะ  $Lm_2 = 13.5$  มิลลิเมตร ( $0.323\lambda_g$ ) จะได้การสูญเสียย้อนกลับ ( $S_{11}$ ) ทั้งสองแถบความถี่ดีพอใช้ได้

ผลการจำลองแบบของสายอากาศทั้งสองตัวที่มีการปรับพารามิเตอร์ต่าง ๆ ตามค่าที่แสดงอยู่ในรูปที่ 3.7 จะได้การสูญเสียย้อนกลับ ( $S_{11}$ ) ดังแสดงในรูปที่ 3.8 และผลการจำลองเชิงตัวเลขจะแสดงอยู่ในตารางที่ 3.5



รูปที่ 3.8 การสูญเสียย้อนกลับ เมื่อ  $L_2 = 24.85$  มิลลิเมตร และ  $Lm_2 = 13.50$  มิลลิเมตร

ตารางที่ 3.5 ผลการจำลองสายอากาศสองแถบความถี่ เมื่อออกแบบความถี่ที่สองที่ 5.25 GHz

Lower Freq			Upper Freq		
Resonance Freq (GHz)	Bandwidth (GHz)	$S_{11}$ (dB)	Resonance Freq (GHz)	Bandwidth (GHz)	$S_{11}$ (dB)
2.43	0.215 (2.33-2.545)	-23.74	5.25	0.850 (4.905-5.755)	-32.78

ผลการจำลองแบบที่แสดงในตารางที่ 3.5 แสดงให้เห็นได้ว่า เมื่อเพิ่มช่องเปิด  $L_2$  เข้าไปในระนาบกราวด์ จะทำให้ความถี่เรโซแนนซ์ของสายอากาศตัวแรกเปลี่ยนจาก 2.44 GHz เป็น 2.43 GHz ซึ่งก็ยังคงครอบคลุมมาตรฐานความถี่ใช้งานที่ต้องการ โดยมีค่าการสูญเสียย้อนกลับที่เปลี่ยนไปด้วย ดังนั้นเพื่อให้ได้ความถี่เรโซแนนซ์ตรงตามที่ต้องการคือ 5.25 GHz พร้อมทั้งมีการแมทซ์อิมพีแดนซ์ที่ดีขึ้นก็จะต้องปรับเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์บางตัวใหม่ให้เหมาะสม ซึ่งรวมถึงความยาวของสายอากาศตัวที่สองคือ  $L_2$  และระยะ  $Lm_2$  ด้วย การเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ดังกล่าว คือ  $L_2 = 24.75$  มม.  $Lm_2 = 13.1$  มม.  $L_3 = 5.0$  มม. และ  $Lm_1 = 0.5$  มม.

ซึ่งการเปลี่ยนแปลงที่กล่าวมานี้จะมีรายละเอียดที่จะได้กล่าวในลำดับถัดไป

การออกแบบสายอากาศช่องเปิดเพื่อใช้งานในแต่ละย่านความถี่สูงที่ใกล้เคียงกัน คือระหว่าง 4.9-5.9 GHz นั้น สามารถทำได้ไม่ยาก โดยการปรับขนาดของสายอากาศตัวที่สองให้สามารถใช้งานได้แต่ละความถี่รวม 4 ความถี่ ซึ่งเป็นความถี่กลางของมาตรฐานที่ต้องการ คือที่ 4.945 GHz, 4.995 GHz, 5.25 GHz, และ 5.80 GHz นั่นคือเมื่อต้องการใช้ความถี่ใด ก็จะต้องนำความถี่นั้นมาคำนวณหา

ความยาว  $L_2$  ซึ่งเป็นความยาวของสายอากาศตัวที่สองนั่นเอง โดยที่ความยาว  $L_2$  ของแต่ละความถี่นี้ เมื่ออ้างอิงกับ  $\lambda_g$  จะไม่เท่ากันแต่ก็ใกล้เคียงกันมาก คือจะอยู่ในช่วงระหว่าง  $0.585\lambda_g - 0.6\lambda_g$  จากการทดลองพบว่าความยาว  $L_2$  ควรจะเป็นดังนี้

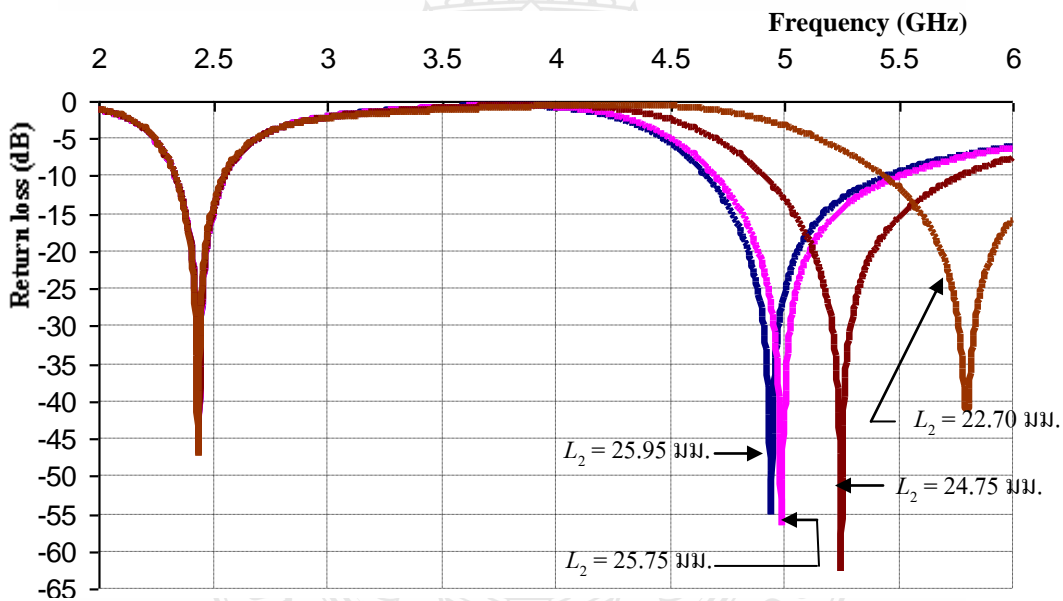
ที่ความถี่ 4.945 GHz:  $\lambda_o = 60.67$  มม. และ  $\lambda_g = 44.36$  มม. กำหนดให้  $L_2 \approx 0.59\lambda_g = 25.95$  มม.

ที่ความถี่ 4.995 GHz:  $\lambda_o = 60.06$  มม. และ  $\lambda_g = 43.92$  มม. กำหนดให้  $L_2 \approx 0.59\lambda_g = 25.75$  มม.

ที่ความถี่ 5.25 GHz:  $\lambda_o = 57.14$  มม. และ  $\lambda_g = 41.79$  มม. กำหนดให้  $L_2 \approx 0.59\lambda_g = 24.75$  มม.

ที่ความถี่ 5.80 GHz:  $\lambda_o = 51.72$  มม. และ  $\lambda_g = 37.82$  มม. กำหนดให้  $L_2 \approx 0.6\lambda_g = 22.70$  มม.

ดังนั้นการออกแบบสายอากาศตัวที่สอง เพื่อให้มีความถี่เรโซแนนซ์ตรงกับความถี่กึ่งกลางของแถบความถี่ใช้งานที่ต้องการ คือ ความถี่ 4.945 GHz, 4.995 GHz, 5.25 GHz, และ 5.80 GHz ความยาว  $L_2$  จะมีการเปลี่ยนแปลงจากยาวจนถึงสั้นลง คือ 25.95 - 22.7 มิลลิเมตร และ  $Lm_2$  ก็จะเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วงระหว่าง 13.90 - 11.85 มิลลิเมตร โดยมี  $r = 2.3$  มิลลิเมตร ผลการจำลองการสูญเสียย้อนกลับ ( $S_{11}$ ) จะแสดงในรูปที่ 3.9 และผลการจำลองเชิงตัวเลขจะแสดงอยู่ในตารางที่ 3.6



รูปที่ 3.9 การสูญเสียย้อนกลับ เมื่อ  $L_2$  อยู่ในช่วงระหว่าง 22.70-25.95 มิลลิเมตร

จากภาพ  $S_{11}$  แสดงให้เห็นได้ว่าสายอากาศนี้ให้สองแถบความถี่ที่มีความถี่เรโซแนนซ์ตามที่ต้องการ โดยแบนด์วิดท์ที่แถบความถี่สูงอาจรองรับได้ถึงสองแถบความถี่มาตรฐานใช้งาน

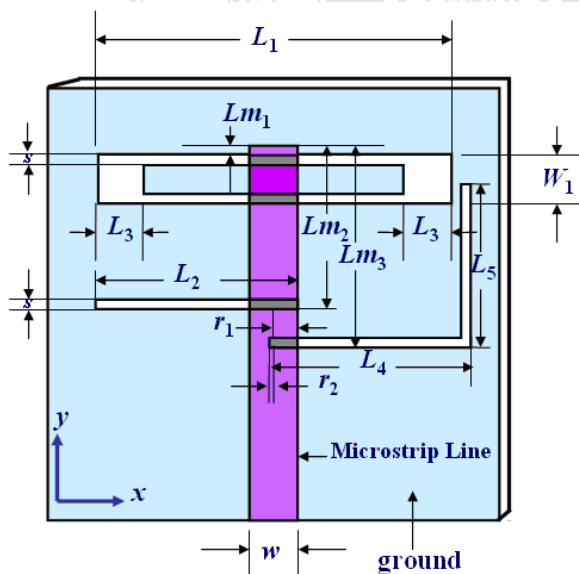
ตารางที่ 3.6 ผลการจำลองที่ได้จากการเปลี่ยนค่า  $L_2$  และปรับค่า  $Lm_2$  เพื่อให้ได้ความถี่ที่ต้องการ

Parameter (mm)		Lower Freq		Upper Freq	
$L_2$	$Lm_2$	Resonance Freq (GHz)	$S_{11}$ (dB)	Resonance Freq (GHz)	$S_{11}$ (dB)
25.95	13.90	2.44	-45.35	4.945	-55.1
25.75	13.85	2.44	-45.56	4.995	-56.54
24.75	13.10	2.44	-46.97	5.25	-62.62
22.70	11.85	2.435	-47.39	5.8	-41.27

ผลการจำลองที่แสดงในตารางที่ 3.6 แสดงให้เห็นได้ว่า ที่ความถี่สูง (Upper Frequency) เมื่อความยาวของช่องเปิด  $L_2$  สั้นลง จะทำให้ความถี่เรโซแนนซ์สูงขึ้น โดยที่ความถี่เรโซแนนซ์ด้านต่ำยังคงเกือบเท่าเดิม คือ 2.44 GHz พร้อมกันนี้ระยะ  $Lm_2$  ก็จะลดลงตามค่า  $L_2$  ที่สั้นลง ระยะ  $Lm_2$  ของแต่ละความยาว  $L_2$  เมื่ออ้างอิงกับ  $\lambda_g$  จะมีค่าโดยประมาณเท่ากัน คือ  $0.313\lambda_g$  โดยมีความถี่เรโซแนนซ์อยู่ระหว่าง 4.945-5.8 GHz และความถี่ด้านต่ำ (Lower Frequency) มีความถี่เรโซแนนซ์ประมาณ 2.44 GHz เกิดจากความยาวของสายอากาศตัวที่หนึ่ง คือ  $L_1 = 40$  มิลลิเมตร ( $0.445\lambda_g$ )

### 3.5 การออกแบบสายอากาศแบบช่องเปิดสำหรับสามแถบความถี่

จากโครงสร้างของสายอากาศแบบช่องเปิดสองแถบความถี่ที่แสดงอยู่ในรูปที่ 3.7 จะถูกนำมาเป็นต้นแบบในการออกแบบสายอากาศสามแถบความถี่ ด้วยการเพิ่มช่องเปิดรูปตัวแอลแบบแคบขนาดเล็ก และจัดวางให้อยู่ในตำแหน่งต่ำกว่าช่องเปิดตัวที่สองลงมา โดยจะทำการออกแบบให้ได้ความถี่เรโซแนนซ์สำหรับการใช้งานในย่าน WiMAX 3.4-3.6 GHz โครงสร้างตามรูปที่ 3.10



- $L_1 = 39.7$  มม.
- $W_1 = 5.0$  มม.
- $w = 4.6$  มม.
- $s = 1.0$  มม.
- $Lm_1 = 0.5$  มม.
- $L_2 = 22.95-25.86$  มม.
- $Lm_2 = 12.15-13.65$  มม.
- $L_3 = 5.0$  มม.
- $L_4 = 22.5$  มม.
- $L_5 = 14.6$  มม.
- $Lm_3 = 17.6$  มม.
- $r_1 = 2.3$  มม.
- $r_2 = 0.3$  มม.

รูปที่ 3.10 โครงสร้างสายอากาศแบบช่องเปิดสามแถบความถี่



- เมื่อ  $L_4$  เป็นความยาวตามแนวนอนของช่องเปิดตัวที่สาม  
 $L_5$  เป็นความยาวตามแนวตั้งของช่องเปิดตัวที่สาม  
 $Lm_3$  เป็นระยะวัดจากขอบล่างของช่องเปิดตัวที่สามถึงปลายสายส่ง  
 $r_1$  และ  $r_2$  เป็นระยะทางจากจุดกึ่งกลางของสายส่งสัญญาณไปยังปลายสุดของช่องเปิดตัวที่  
สองและสาม ตามลำดับ

ที่ความถี่ 3.50 GHz ความยาวคลื่น  $\lambda_0 = 85.71$  มิลลิเมตร และ  $\lambda_g = 62.68$  มิลลิเมตร

การออกแบบ และจำลองผลสายอากาศแบบช่องเปิดสามแถบความถี่จะมีความถี่เรโซแนนซ์แรกประมาณ 2.44 GHz ความถี่เรโซแนนซ์ที่สองประมาณ 3.5 GHz ส่วนความถี่เรโซแนนซ์ที่สามจะมีสี่ความถี่ให้เลือกออกแบบ คือ 4.945 GHz, 4.995 GHz, 5.25 GHz, และ 5.80 GHz ซึ่งทั้งสี่ความถี่นี้อยู่ในแถบความถี่สูงที่ได้แสดงการออกแบบและจำลองผลในหัวข้อที่ผ่านมาแล้ว ดังนั้นในการจำลองผลนี้ก็จะยังคงใช้ความยาว  $L_2$  ตามความถี่ที่ต้องการ ซึ่งมีให้เลือกใช้จำนวนสี่ค่าที่แตกต่างกัน การออกแบบสายอากาศตัวที่สองที่ย่านความถี่สูงจะเป็นการ ออกแบบร่วมกับสายอากาศตัวที่หนึ่งและตัวที่สาม การกำหนดค่าพารามิเตอร์ของสายอากาศสามแถบความถี่จะยังคงใช้ค่าพารามิเตอร์เดิมบางตัวตามแบบของสายอากาศแบบสองแถบความถี่ที่ได้กล่าวไปแล้ว แต่ก็มีบางพารามิเตอร์ที่ต้องมีค่าเปลี่ยนแปลงไป สรุปค่าพารามิเตอร์ดังนี้

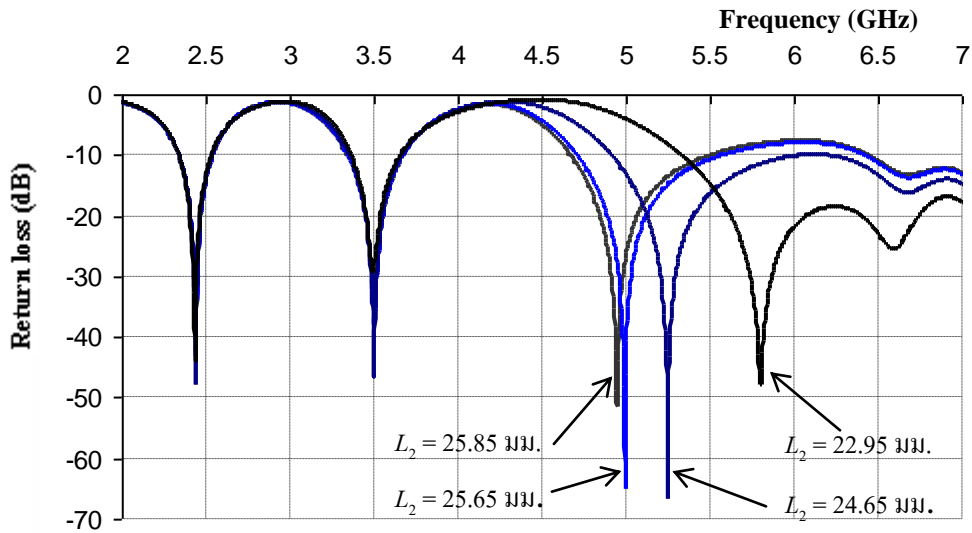
สายอากาศตัวที่หนึ่ง ออกแบบใช้งานในย่านความถี่ประมาณ 2.44 GHz ค่าพารามิเตอร์บางตัวคงเดิม ยกเว้นเฉพาะความยาวสายอากาศต้องปรับลดลงเล็กน้อยเพื่อให้ได้ความถี่เรโซแนนซ์อยู่ในช่วง 2.435-2.44 GHz นั่นคือ

ความยาว  $L_1 = 39.7$  มิลลิเมตร และให้ระยะ  $Lm_1 = 0.5$  มิลลิเมตร คงที่เท่าเดิม

สายอากาศตัวที่สอง ออกแบบใช้งานในย่านความถี่สูงสี่ย่านความถี่ที่แยกออกแบบทีละความถี่ จะออกแบบเช่นเดียวกับที่ได้แสดงไว้ในหัวข้อ 3.4 แต่เนื่องจากต้องมีการแทรกสายอากาศตัวที่สามสำหรับย่านความถี่ 3.5 GHz เข้ามา จึงทำให้ค่าพารามิเตอร์  $L_2$  และ  $Lm_2$  จะต้องถูกเปลี่ยนแปลงไปเล็กน้อยเมื่อเทียบกับค่าที่แสดงไว้ในตารางที่ 3.6 เพื่อให้ได้ความถี่เรโซแนนซ์ที่ความถี่สูงตั้งแต่ 4.95-5.8 GHz รวมถึงย่านความถี่ตามที่ต้องการ สำหรับพารามิเตอร์ทั้งหมดแสดงในตารางที่ 3.7

สายอากาศตัวที่สาม ออกแบบใช้งานในย่านความถี่ประมาณ 3.5 GHz ซึ่งจะให้ความถี่เรโซแนนซ์อยู่ระหว่าง 3.495-3.505 GHz จะมีค่าพารามิเตอร์คงที่คือ ความยาว  $L_4 + L_5 = 22.5 + 14.6 = 37.1$  มิลลิเมตร ( $0.59\lambda_g$ ) และ  $Lm_3 = 17.6$  มิลลิเมตร ( $0.281\lambda_g$ )

ผลการจำลองการสูญเสียย้อนกลับ ( $S_{11}$ ) ที่ได้จากการจำลองแบบโดยการเปลี่ยนความยาว  $L_2$  จะแสดงในรูปที่ 3.11 และผลการจำลองเชิงตัวเลขจะแสดงในตารางที่ 3.7 ซึ่งแสดงให้เห็นได้ว่าสายอากาศนี้สามารถให้ความถี่เรโซแนนซ์ได้ 3 ความถี่ ที่ใกล้เคียงกับความถี่กึ่งกลางของแถบความถี่มาตรฐาน คือ 2.44 GHz, 3.5 GHz และ 4.99 GHz หรือ 5.25 GHz หรือ 5.8 GHz



รูปที่ 3.11 การสูญเสียย้อนกลับ ที่แถบความถี่ต่ำ-สูง และความถี่ 3.5 GHz

ตารางที่ 3.7 ผลการจำลอง เมื่อเปลี่ยนค่า  $L_2$  และปรับ  $Lm_2$  โดยพารามิเตอร์อื่น ๆ มีค่าตามรูปที่ 3.10

พารามิเตอร์ (มม.)		$L_2$		$Lm_2$		$L_2$		$Lm_2$	
		25.85	13.6	25.65	13.5	24.65	13.1	22.95	12.0
แถบความถี่ต่ำ	Fr (GHz)	2.44		2.44		2.44		2.435	
	$S_{11}$ (dB)	-41.95		-43.26		-47.96		-43.74	
	Bandwidth (GHz)	2.345-2.54		2.345-2.54		2.345-2.54		2.34-2.535	
แถบความถี่ 3.5 GHz	Fr (GHz)	3.505		3.505		3.50		3.495	
	$S_{11}$ (dB)	-35.7		-38.04		-46.2		-29.52	
	Bandwidth (GHz)	3.345-3.675		3.35-3.675		3.355-3.67		3.37-3.66	
แถบความถี่สูง	Fr (GHz)	4.95		4.995		5.25		5.80	
	$S_{11}$ (dB)	-51.59		-65.21		-66.76		-47.91	
	Bandwidth (GHz)	4.675-5.505		4.71-5.57		4.92-6.01		5.34-over 7	
จำนวนแถบความถี่มาตรฐาน		4 แถบ		4 แถบ		5 แถบ		3 แถบ	

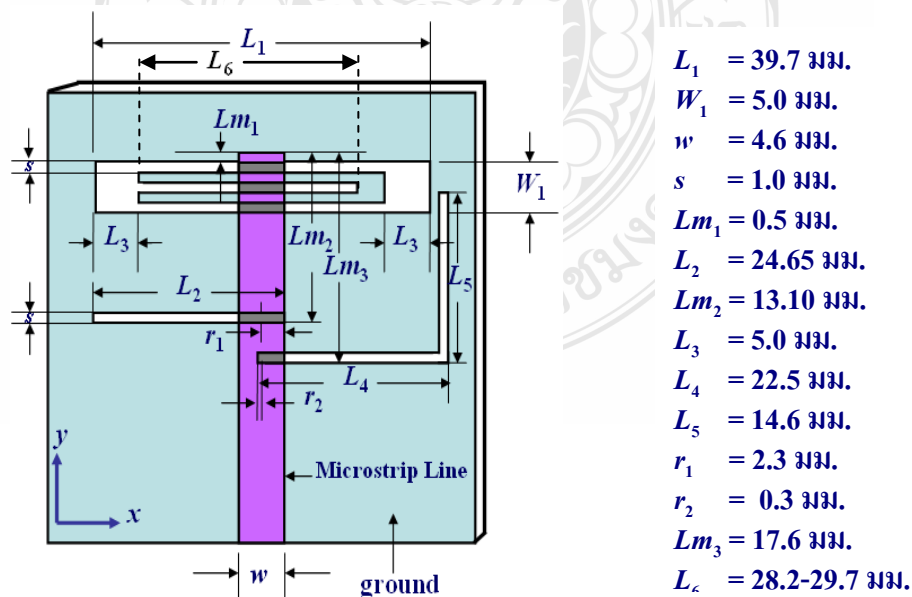
จากตารางที่ 3.7 แสดงให้เห็นได้ว่า เมื่อความยาว  $L_2 = 24.65$  มม. จะมีความกว้างแบนด์วิดท์ที่แถบความถี่สูงอยู่ระหว่างความถี่ 4.92-6.01 GHz ทำให้ครอบคลุมสามแถบความถี่มาตรฐานใช้งาน ดังนั้นสายอากาศนี้จึงเป็นสายอากาศแบบช่องเปิดสามแถบความถี่ที่สามารถรองรับกับการนำไปใช้ในสามแถบความถี่ หรือสี่แถบความถี่ หรือห้าแถบความถี่มาตรฐานใช้งาน ขึ้นอยู่กับการเลือกใช้ค่า  $L_2$  และการปรับ  $Lm_2$  ให้ได้ผลที่ดีที่สุด

### 3.6 การออกแบบสายอากาศแบบช่องเปิดสำหรับห้าแถบความถี่มาตรฐานใช้งาน

การออกแบบ และจำลองผลสายอากาศแบบช่องเปิดสามแถบความถี่ที่ให้ความถี่เรโซแนนซ์ตรงกับกึ่งกลางแถบความถี่มาตรฐานใช้งานที่ได้ผ่านการวิเคราะห์มาแล้วในหัวข้อที่ 3.5 นั้น แม้ว่าจะสามารถรองรับการใช้งานได้ในห้าแถบความถี่มาตรฐานใช้งานเมื่อ  $L_2 = 24.65$  มม. ก็ตาม แต่ที่แถบความถี่ด้านสูงยังสามารถที่จะพัฒนาปรับปรุงให้มีแบนด์วิดท์กว้างมากขึ้นกว่าเดิมได้ โดยให้ครอบคลุมสามแถบความถี่มาตรฐานใช้งานตั้งแต่ 4.9 GHz ถึง 5.9 GHz ได้เป็นอย่างดี ดังนั้นในหัวข้อนี้จะแสดงการขยายแบนด์วิดท์เฉพาะที่แถบความถี่สูง ซึ่งจะมีวิธีการในการดำเนินงานที่ละขั้นตอน ลำดับขั้นตอนทั้งหมดจะเป็นแนวทางในการทำให้ได้แบนด์วิดท์กว้างและดีที่สุด สำหรับความยาว  $L_2$  ที่จะนำมาวิเคราะห์มีเพียงสองค่า คือ 24.65 มม. และ 25.65 มม. ซึ่งจะอธิบายอยู่ในหัวข้อที่ 3.6.1 และหัวข้อที่ 3.6.2 ตามลำดับ โดยที่  $W_1$ ,  $Lm_1$ ,  $L_2$ , และ  $Lm_2$  มีค่าคงเดิม

#### 3.6.1 การเพิ่มเส้นช่องเปิดแนวอนกลาง $L_6$ โดย $L_2 = 24.65$ มม.

โดยการนำสายอากาศแบบช่องเปิดสามแถบความถี่ตามโครงสร้างที่แสดงอยู่ในรูปที่ 3.10 มาทำการปรับปรุงด้วยการแทรกช่องเปิดเข้าไปในเนื้อโลหะของช่องเปิดตัวแรก หรือก็คือต่อขึ้นเส้นช่องเปิดแนวอนที่กว้าง 1.0 มิลลิเมตร ออกจากกึ่งกลางด้านซ้ายของสายอากาศช่องเปิดตัวที่หนึ่ง โดยให้ยื่นออกมาในแนวอนคือระยะ  $L_6$  ความยาวนี้จะถูกนำมาหาระยะที่เหมาะสมเพื่อนำมาวิเคราะห์สายอากาศต่อไป ความยาว  $L_6$  ที่ถูกนำมาวิเคราะห์จะอยู่ในช่วงระหว่าง 28.2 – 29.7 มิลลิเมตร ถ้า  $L_6 = 29.7$  มิลลิเมตร ปลายเส้นช่องเปิดนี้จะต่อติดกับด้านขวาของสายอากาศช่องเปิด โครงสร้างของสายอากาศนี้แสดงอยู่ในรูปที่ 3.12 จากผลในตารางที่ 3.7 เมื่อ  $L_2 = 24.65$  มิลลิเมตร และ  $Lm_2 = 13.1$  มิลลิเมตร จะมีแบนด์วิดท์ที่เกือบครอบคลุมทุกมาตรฐานความถี่สูง (4.9 GHz ถึง 5.9 GHz) ดังนั้นค่า  $L_2$  และ  $Lm_2$  จึงถูกนำมาใช้ในการวิเคราะห์ผลตามโครงสร้างและค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ในรูปที่ 3.12



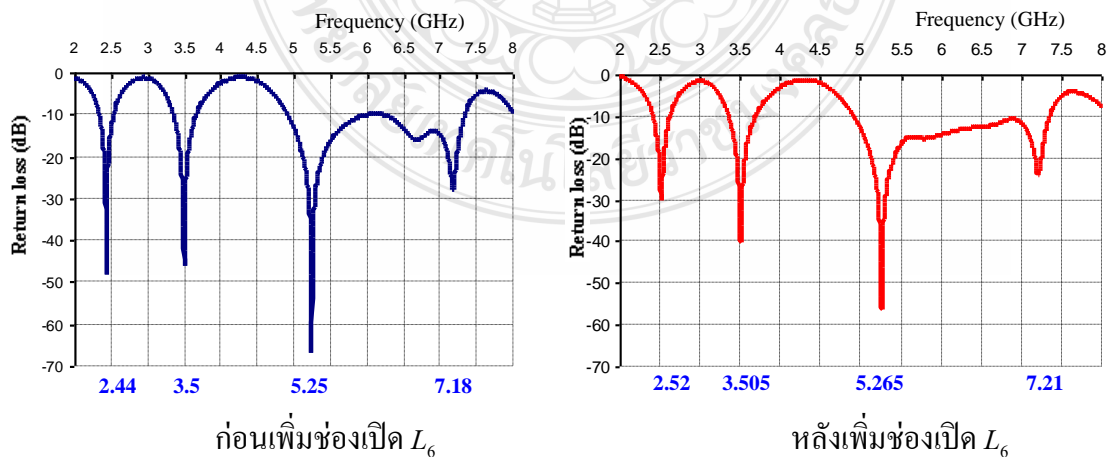
รูปที่ 3.12 โครงสร้างสายอากาศห้าแถบความถี่มาตรฐานใช้งาน เมื่อ  $L_2 = 24.65$  มม.

เมื่อ  $L_6$  เป็นความยาวของเส้นช่องเปิดแนวนอนที่แทรกอยู่ที่กึ่งกลางสายอากาศตัวที่หนึ่ง  
 $s$  เป็นความกว้างของทุกช่องเปิดแนวนอนของสายอากาศตัวที่หนึ่ง

ในการจำลองนี้จะกำหนดความกว้างของช่องเปิดแนวนอนทุกช่อง คือความกว้าง  $s = 1.0$  มิลลิเมตร เมื่อทดลองปรับความยาว  $L_6$  พบว่าจะทำให้แบนด์วิดท์ที่แถบความถี่สูงกว้างขึ้นและความถี่เรโซแนนซ์ของแถบความถี่ต่ำจะเปลี่ยนแปลงสูงขึ้น คุณลักษณะของสายอากาศที่เกิดจากการปรับความยาว  $L_6$  จะแสดงไว้ในตารางที่ 3.8 และภาพการสูญเสียย้อนกลับ ( $S_{11}$ ) ก่อนและหลังการเพิ่มช่องเปิดกลาง ซึ่งแสดงเฉพาะผลที่ดีที่สุดคือ  $L_6=28.2$  มม. แสดงอยู่ในรูปที่ 3.13

ตารางที่ 3.8 ผลการจำลอง เมื่อเปลี่ยนค่า  $L_6$  โดย  $L_1=39.7$  มม.,  $Lm_1=0.5$  มม.,  $L_4= 22.5$  มม.,  
 $L_2=24.65$  มม.,  $Lm_2= 13.6$  มม.,  $L_5=14.6$  มม., และ  $Lm_3=17.6$  มม.

พารามิเตอร์ (มม.)		$L_6$							
		29.7		29.2		28.7		28.2	
แถบความถี่ต่ำ	Freq (GHz)	2.485		2.51		2.515		2.52	
	$S_{11}$ (dB)	-34.61		-30.03		-30.55		-30	
	Bandwidth (GHz)	2.375-2.596		2.405-2.62		2.41-2.62		2.42-2.63	
แถบความถี่ 3.5 GHz	Freq (GHz)	3.505		3.505		3.505		3.505	
	$S_{11}$ (dB)	-38.64		-39.77		-34.24		-40.1	
	Bandwidth (GHz)	3.36-3.69		3.36-3.69		3.36-3.69		3.36-3.69	
แถบความถี่สูง	Freq (GHz)	5.27	7.22	5.265	7.21	5.265	7.21	5.265	7.21
	$S_{11}$ (dB)	-52.5	-38.1	-48.9	-24.5	-52.5	-24.2	-56.3	-23.9
	Bandwidth (GHz)	4.92-7.37		4.92-7.36		4.92-7.36		4.92-7.36	



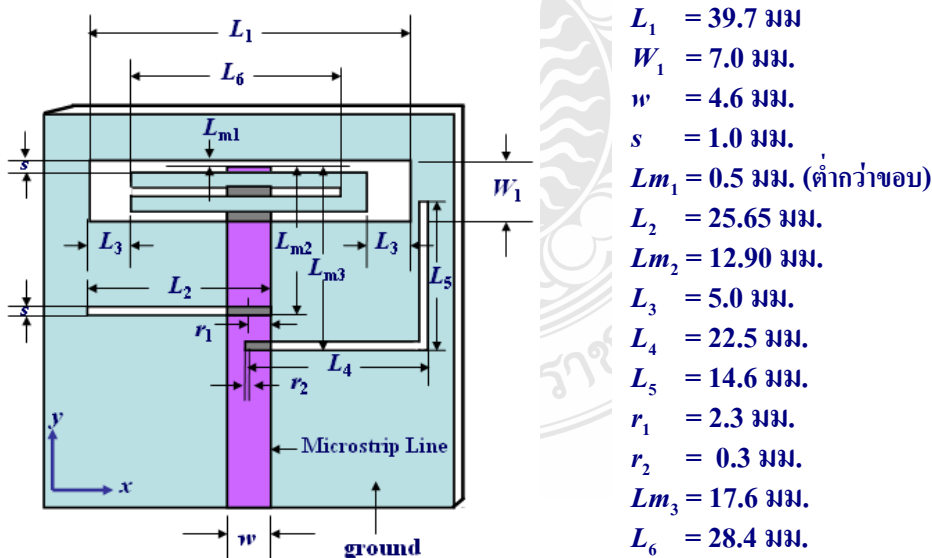
รูปที่ 3.13 การสูญเสียย้อนกลับก่อนและหลังเพิ่มเส้นช่องเปิดแนวนอนกลาง เมื่อ  $L_2=24.65$  มม.

จากผลกระทบของการปรับค่า  $L_6$  ซึ่งแสดงในตารางที่ 3.8 และภาพการสูญเสียย้อนกลับที่เกิดจากค่า  $L_6 = 28.2$  มม. ซึ่งให้ผลดีที่สุดในรูปแบบที่ 3.13 จะเห็นได้ว่าหลังเพิ่มช่องเปิดแทรกเข้าไปในโลหะที่อยู่ภายในวงรอบสี่เหลี่ยมของสายอากาศตัวที่หนึ่ง โดยมีความยาวเป็น  $L_1$  จะมีผลกระทบต่อความถี่เรโซแนนซ์ด้านต่ำ เมื่อวิเคราะห์ผลจากตารางที่ 3.8 พบว่าขอบแรกของแถบความถี่สูงยังสูงกว่า 4.9 GHz ดังนั้นควรปรับพารามิเตอร์ทางขนาดของสายอากาศตัวที่หนึ่งและสองใหม่ ส่วนสายอากาศตัวที่สามที่ต้องการความถี่เรโซแนนซ์ที่ 3.5 GHz นั้นยังคงเดิมไม่จำเป็นต้องปรับขนาด

เพื่อไม่ให้ปลายความยาวช่องเปิด  $L_6$  ติดกับขอบด้านขวาของอากาศ ในเบื้องต้นจึงเลือกใช้ที่สั้นที่สุดคือ  $L_6 = 28.2$  มิลลิเมตร จากผลที่แสดงในตารางที่ 3.8 สายอากาศตัวที่หนึ่ง จะให้ความถี่เรโซแนนซ์ 2.52 GHz ดังนั้นจะต้องทำให้ความถี่ลดลงเป็น 2.44 GHz ซึ่งมีสามทางเลือกคือ เพิ่มความยาวของช่องเปิดตัวแรก ( $L_1$ ) หรือเพิ่มความกว้างของช่องเปิดตัวแรก ( $W_1$ ) หรือเพิ่มทั้งความยาวและความกว้าง ซึ่งทั้งสามทางเลือกนี้จะต้องทำการปรับค่า  $L_{m1}$  ใหม่ทุกครั้งเพื่อให้การสูญเสียย้อนกลับน้อยที่สุด สำหรับสายอากาศตัวที่สองซึ่งให้แถบความถี่สูง จะต้องลดความถี่ลงด้วยการเพิ่มความยาวของช่องเปิดตัวที่สอง ( $L_2$ ) รวมทั้งปรับค่า  $L_{m2}$  ใหม่ ดังจะแสดงในหัวข้อ 3.6.2 ต่อไป

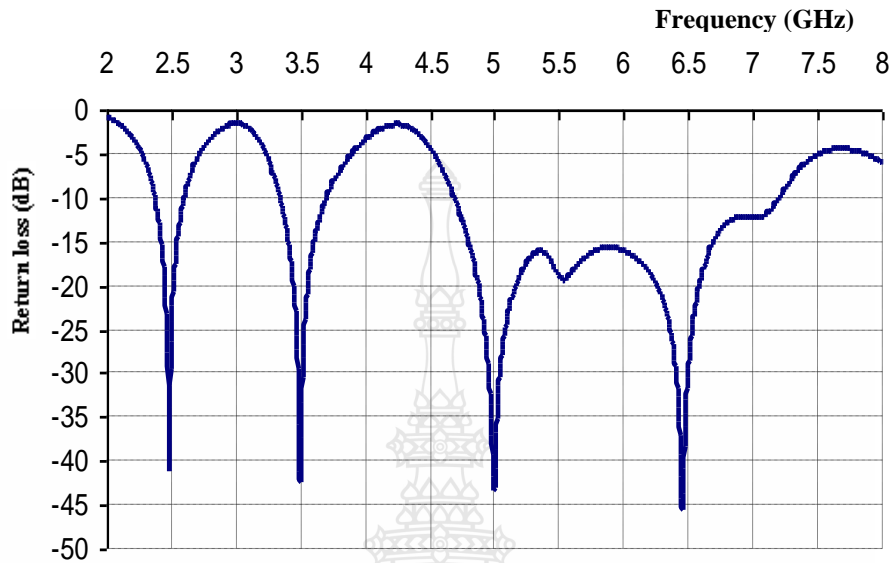
### 3.6.2 การเพิ่มเส้นช่องเปิดแนวนอนกลาง $L_6$ โดย $L_2 = 25.65$ มม.

จากผลกระทบที่เกิดขึ้นในหัวข้อ 3.6.1 นั้น ได้ถูกนำมาวิเคราะห์และปรับปรุงแก้ไขด้วยการออกแบบสายอากาศตัวที่หนึ่งและสองใหม่ เพื่อให้ได้ผลที่ดีที่สุดจึงต้องปรับค่าพารามิเตอร์ 5 ตัว คือ  $W_1, L_{m1}, L_2, L_{m2}$  และ  $L_6$  รายละเอียดแสดงอยู่ในโครงสร้างตามรูปที่ 3.14 และการสูญเสียย้อนกลับและคุณลักษณะต่าง ๆ ของสายอากาศ แสดงอยู่ในรูปที่ 3.15 และตารางที่ 3.9 ตามลำดับ



รูปที่ 3.14 โครงสร้างสายอากาศห้าแถบความถี่มาตรฐานใช้งาน เมื่อ  $L_2 = 25.65$  มม.  $L_6 = 28.4$  มม.

ในกรณีนี้ระยะ  $Lm_1$  จะถูกปรับให้ลดต่ำกว่าขอบบนสายอากาศ 0.5 มม. ขณะที่ผ่านมามีระยะสูงกว่าขอบสายอากาศ



รูปที่ 3.15 การสูญเสียย้อนกลับเมื่อแทรกช่องเปิดแนวอนกลาง  $L_6 = 28.4$  มม. โดยที่  $L_2 = 25.65$  มม.

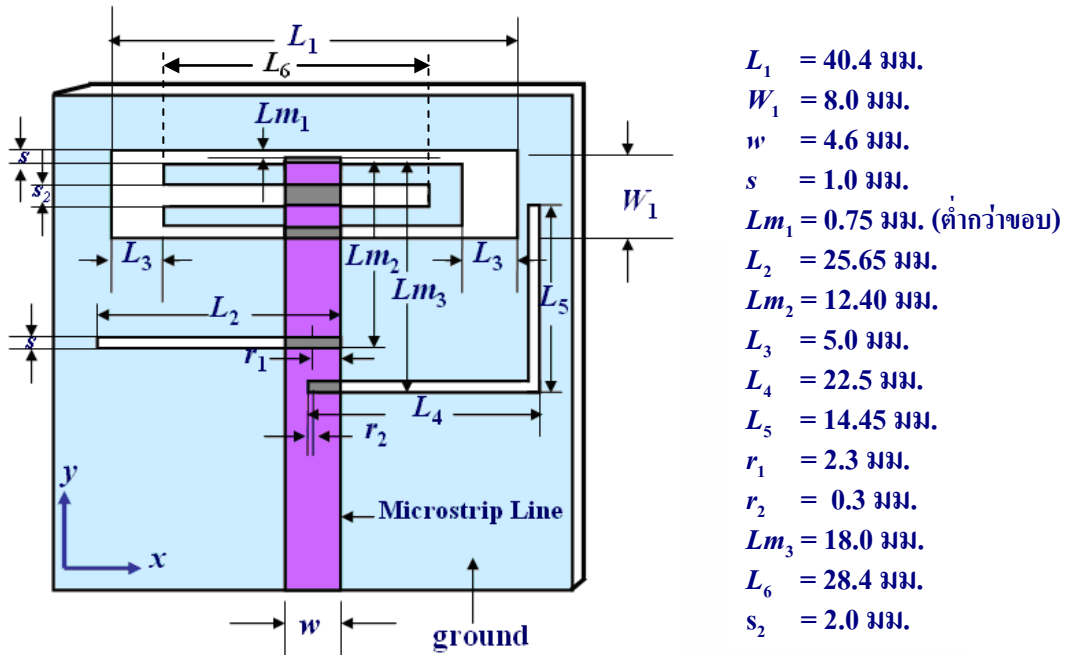
ตารางที่ 3.9 ผลการจำลองเมื่อแทรกเส้นช่องเปิดแนวอนกลาง โดยที่  $L_2 = 25.65$  มม.

Resonance Freq (GHz)	Bandwidth (GHz)	$S_{11}$ (dB)
2.49	0.220 (2.385-2.605)	-43.16
3.5	0.355 (3.345-3.7)	-42.4
4.995, 6.43	2.510 (4.695-7.205)	-44.61, -46.07

ผลการจำลองการสูญเสียย้อนกลับตามที่แสดงอยู่ในรูปที่ 3.15 และค่าคุณลักษณะสายอากาศแสดงในตารางที่ 3.9 เมื่อนำมาวิเคราะห์ จะเห็นได้ว่าที่ความถี่เรโซแนนซ์ด้านต่ำคือ 2.49 GHz ยังเป็นความถี่ที่สูงกว่า 2.44 GHz ซึ่งเป็นความถี่ที่ต้องการ ดังนั้นจะต้องปรับพารามิเตอร์  $L_1$ ,  $W_1$  และ  $Lm_1$  ใหม่ ซึ่งจะดำเนินการในขั้นตอนต่อไป

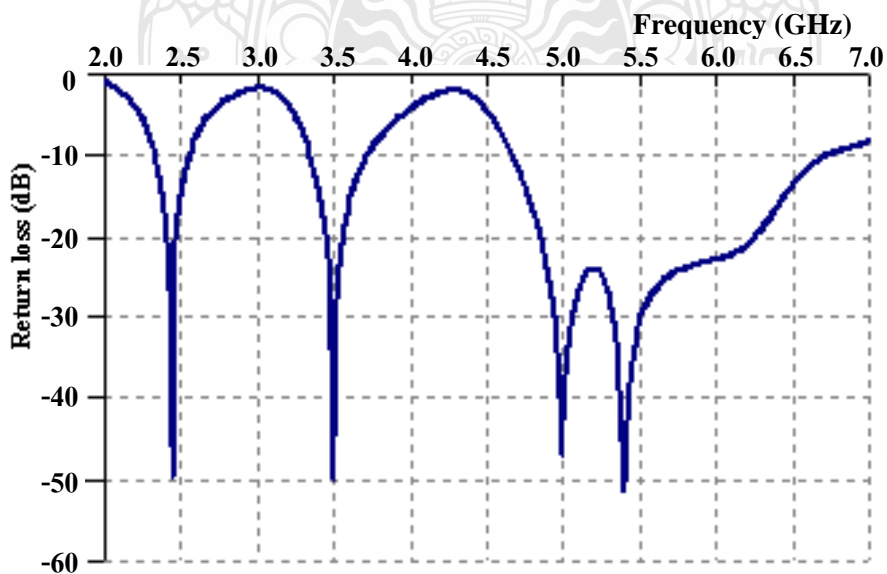
### 3.6.3 การเพิ่มความกว้างของเส้นช่องเปิดแนวอนกลาง $s_2$ โดย $L_2 = 25.65$ มม.

จากผลการจำลองในหัวข้อที่ 3.6.2 พบว่าที่แถบความถี่ต่ำมีความถี่เรโซแนนซ์สูงกว่า 2.44 GHz ดังนั้นจึงนำโครงสร้างในรูปที่ 3.14 มาทำการปรับปรุงใหม่ด้วยการเพิ่มความกว้างและความยาวของสายอากาศช่องเปิดตัวที่หนึ่งและเพิ่มความกว้างของเส้นช่องเปิดแนวอนกลาง ( $s_2$ ) ให้มากขึ้นด้วย จากนั้นจะทำการปรับแต่งพารามิเตอร์ต่าง ๆ เพื่อให้เกิดการแมทซ์ที่ดีตลอดย่านความถี่ พร้อมกับให้แถบความถี่ด้านสูงกว้างมากขึ้นด้วย ดังโครงสร้างในรูปที่ 3.16



รูปที่ 3.16 โครงสร้างสายอากาศห้าแถบความถี่มาตรฐาน เมื่อขยายขนาดของสายอากาศ

เมื่อทำการจำลองผลจนได้ค่าที่เหมาะสม พบว่าในการจำลองครั้งนี้จะต้องปรับเปลี่ยนค่าของพารามิเตอร์จำนวน 7 ตัว ซึ่งประกอบด้วย  $L_1$ ,  $W_1$ ,  $L_{m1}$ ,  $L_{m2}$ ,  $L_5$ ,  $L_{m3}$  และ  $s_2$  โดยที่  $L_6 = 28.4$  มิลลิเมตร ผลการจำลองการสูญเสียย้อนกลับแสดงในรูปที่ 3.17 และคุณลักษณะของสายอากาศแสดงอยู่ในตารางที่ 3.10



รูปที่ 3.17 การสูญเสียย้อนกลับเมื่อปรับขนาดสายอากาศ ความกว้าง  $s_2$  และค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ

ตารางที่ 3.10 คุณสมบัติของสายอากาศหัวแถบความถี่มาตรฐาน

Resonance Freq (GHz)	Bandwidth (GHz)	$S_{11}$ (dB)
2.44	0.220 (2.335-2.555)	-49.4
3.5	0.365 (3.35-3.715)	-49.95
4.99, 5.4	2.030 (4.67-6.7)	-46.93, -51.23

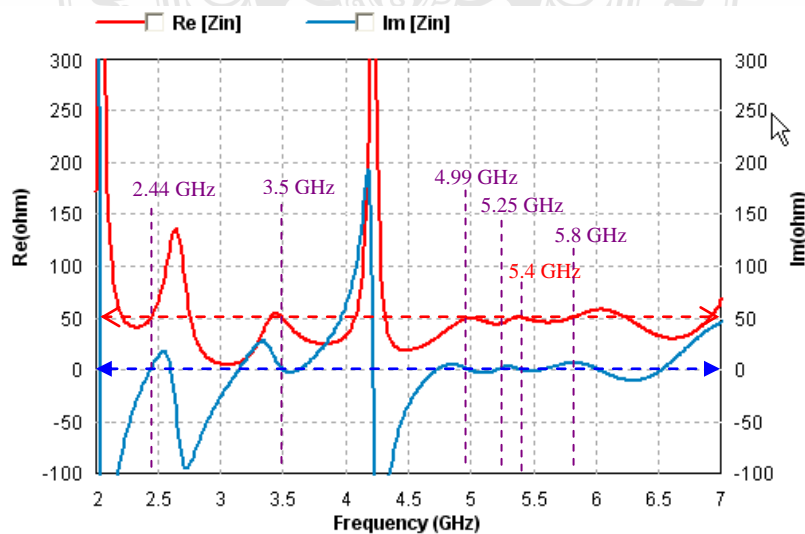
จากผลการจำลองที่แสดงในตารางที่ 3.10 แสดงให้เห็นว่าสายอากาศนี้สามารถให้ความถี่เรโซแนนซ์ด้านต่ำตามที่ต้องการได้ คือ 2.44 GHz และที่แถบความถี่ WiMAX ความถี่เรโซแนนซ์เท่ากับ 3.5 GHz ส่วนที่แถบความถี่สูงจะมีความกว้างแบนด์วิดท์ตั้งแต่ 4.67-6.7 GHz โดยมีความถี่เรโซแนนซ์ 2 ความถี่ คือ 4.99 GHz และ 5.4 GHz จึงทำให้สายอากาศนี้มีแบนด์วิดท์ที่กว้างครอบคลุม 5 แถบความถี่มาตรฐานใช้งานตามที่ต้องการ นั่นคือสายอากาศที่ออกแบบนี้มีความถี่เรโซแนนซ์ 4 ความถี่ ในสามแถบความถี่ ดังนั้นเมื่อคิดเป็นความถี่มาตรฐานใช้งาน จะเป็น 5 แถบความถี่มาตรฐาน คือ IEEE 802.11 b/g (2.4-2.4835 GHz), IEEE 802.11 j (4.90-5.0 GHz, 5.03-5.091 GHz) ซึ่งรวมถึง Public Safety frequency (4.94-4.99 GHz), IEEE 802.11 a (5.15-5.35 GHz), IEEE 802.11 h (5.47-5.725 GHz, 5.725-5.825 GHz) และ WiMAX (3.4-3.6 GHz)

### 3.7 คุณสมบัติที่สำคัญของสายอากาศช่องเปิดหัวแถบความถี่ เมื่อระนาบกราวด์เป็นอนันต์

คุณสมบัติที่สำคัญของสายอากาศหัวแถบความถี่มาตรฐานใช้งานของโครงสร้างในรูปที่ 3.16 จะถูกนำมาวิเคราะห์และจำลองผลดังนี้

#### 3.7.1 อินพุตอิมพีแดนซ์

อินพุตอิมพีแดนซ์ของสายอากาศช่องเปิดหัวแถบความถี่มาตรฐานแสดงดังรูปที่ 3.18



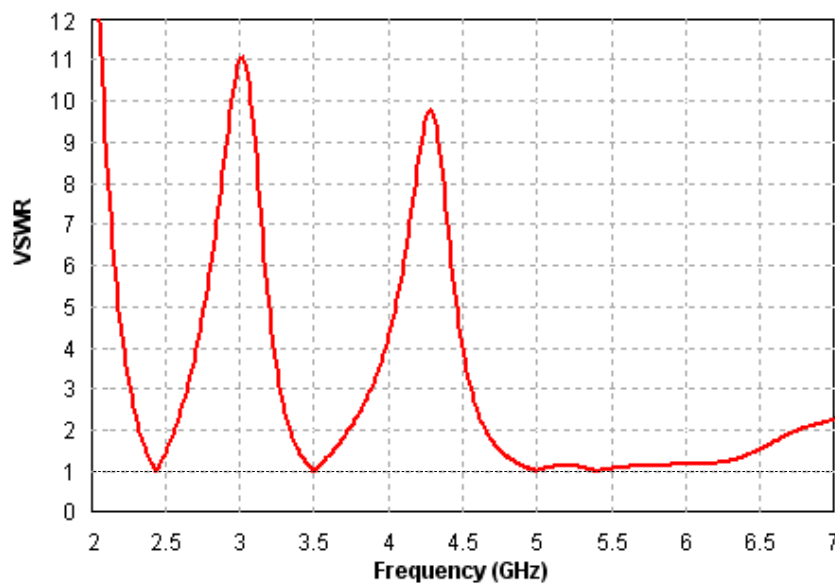
รูปที่ 3.18 อินพุตอิมพีแดนซ์ของสายอากาศช่องเปิดหัวแถบความถี่มาตรฐาน



จะเห็นได้ว่าที่ความถี่เรโซแนนซ์ 2.44 GHz, 3.5 GHz, 4.99 GHz, และ 5.4 GHz สายอากาศนี้มีอิมพีแดนซ์ประมาณ 50 โอห์ม โดยมีค่าความต้านทานจินตภาพ (Imaginary Resistance) น้อยมาก ขณะที่ณกึ่งกลางความถี่มาตรฐาน WLAN และ WiMAX 5.25 GHz และ 5.8 GHz มีค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศน้อยกว่าพอประมาณ ผลการจำลองที่ความถี่เรโซแนนซ์และความถี่มาตรฐานใช้งานแสดงในตารางที่ 3.11

### 3.7.2 อัตราส่วนแรงดันคลื่นนิ่ง

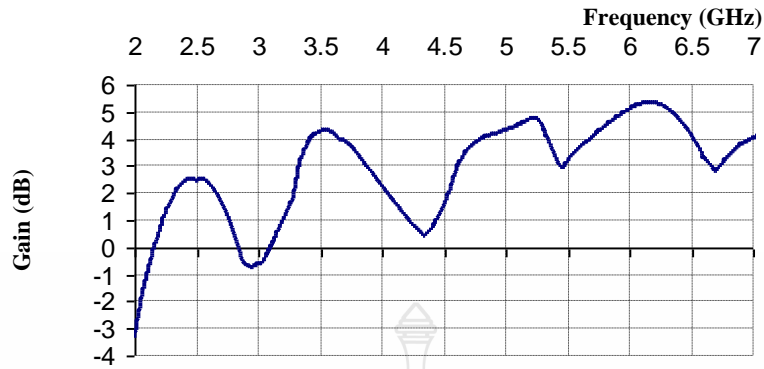
อัตราส่วนแรงดันคลื่นนิ่ง (Voltage Standing Wave Ratio: VSWR) ของสายอากาศช่องเปิดห้าแถบความถี่มาตรฐานแสดงในรูปที่ 3.19 เป็นสิ่งหนึ่งที่บอกลักษณะประสิทธิภาพของสายอากาศ นอกจากนี้ยังสามารถบอกลักษณะความกว้างแบนด์วิดท์ของสายอากาศด้วย สายอากาศที่มีประสิทธิภาพดีที่สุดจะต้องมีค่า VSWR เท่ากับ 1 ดังนั้นถ้าความถี่ใดของสายอากาศมีค่า VSWR เข้าใกล้ 1 มากที่สุด (ลดลงต่ำสุด) จุดนั้นหรือ ณ ความถี่นั้นก็จะสามารถนำไปใช้งานได้ดีที่สุด ซึ่งตำแหน่งนี้คือความถี่เรโซแนนซ์ของสายอากาศ ส่วนความกว้างของแบนด์วิดท์ก็สามารถพิจารณาได้ที่ตำแหน่ง VSWR=2 ซึ่งเป็นมาตรฐานที่ใช้โดยทั่วไป ผลการจำลอง ณ ความถี่เรโซแนนซ์และความถี่มาตรฐานใช้งานแสดงในรูปที่ 3.19



รูปที่ 3.19 อัตราส่วนแรงดันคลื่นนิ่ง (VSWR) ของสายอากาศช่องเปิด 5 แถบความถี่มาตรฐาน

### 3.7.3 อัตราขยายของสายอากาศ

ผลการจำลองอัตราขยายของสายอากาศ (Gain) แสดงในรูปที่ 3.20 อัตราขยายของสายอากาศจะเป็นสิ่งที่จะบอกลักษณะความสามารถของสายอากาศ ในการรับ-ส่งคลื่นสัญญาณในทิศทางที่มีการแพร่กระจายได้ดีที่สุด โดยทั่วไปสายอากาศมักจะมีอัตราขยายมากกว่า 2 dB ขึ้นไป ถ้าอัตราขยายยิ่งมากจะเป็นสิ่งที่ต้องการของการออกแบบสายอากาศ ผลการจำลอง ณ ความถี่เรโซแนนซ์และความถี่มาตรฐานใช้งานแสดงในตารางที่ 3.11



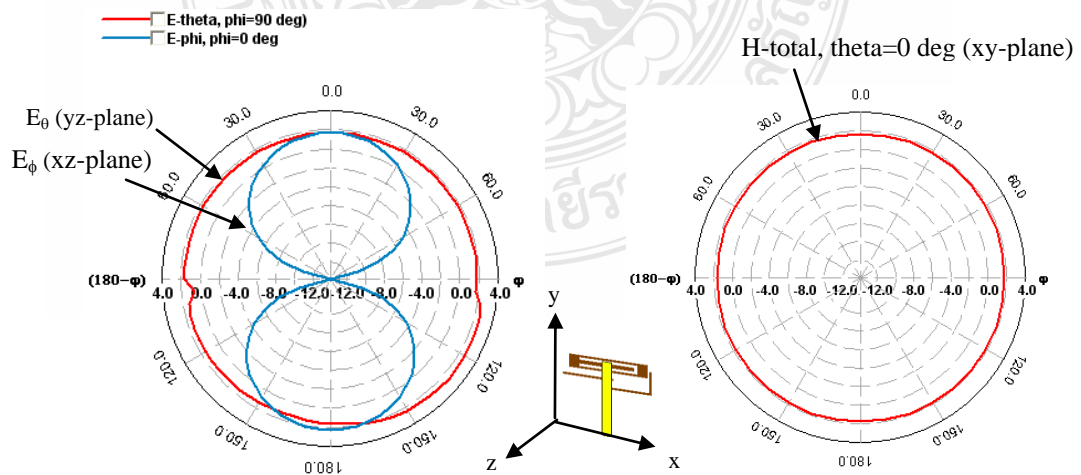
รูปที่ 3.20 อัตราขยาย (Gain) ของสายอากาศช่องเปิด 5 แถบความถี่มาตรฐาน

ตารางที่ 3.11 คุณลักษณะของสายอากาศแบบช่องเปิดห้าแถบความถี่มาตรฐาน ณ ความถี่ต่าง ๆ

ความถี่ (GHz)	$S_{11}$ (dB)	อิมพีแดนซ์ (โอห์ม)	VSWR	Gain (dBi)
เรโซแนนซ์ 2.44	-49.40	$49.8+j0.2757$	1.007	2.52
เรโซแนนซ์ 3.5	-49.95	$49.7+j0.0986$	1.006	4.29
เรโซแนนซ์ 4.99	-46.93	$49.55+j0.0436$	1.009	4.32
เรโซแนนซ์ 5.4	-51.23	$50.25-j0.1106$	1.006	3.35
5.25	-24.70	$45.02+2.419$	1.124	4.76
5.8	-23.73	$49.98+j6.523$	1.139	4.47

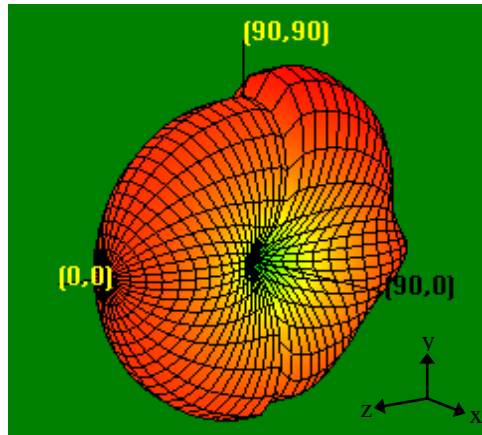
### 3.7.4 แบบรูปการแผ่พลังงานสนามระยะใกล้ เมื่อระนาบกรวดเป็นอนันต์

แบบรูปการแผ่สนามแบบสองมิติ และสามมิติของสายอากาศแบบช่องเปิดสำหรับห้าแถบความถี่มาตรฐานใช้งานที่มีโครงสร้างตามรูปที่ 3.16 จะแสดงอยู่ในรูปที่ 3.21- รูปที่ 3.25 ซึ่งเป็นการแสดงที่ความถี่กึ่งกลางของมาตรฐาน WLAN และ WiMAX



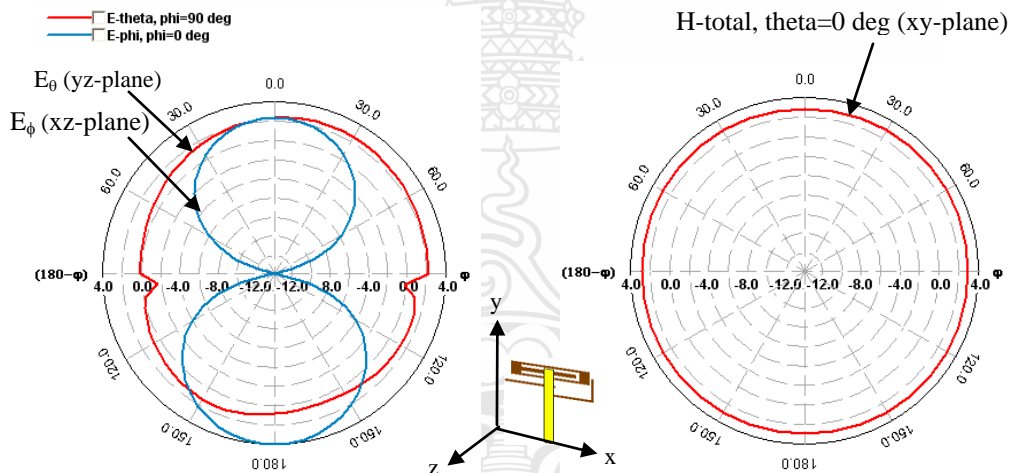
(ก) แบบรูปสองมิติสนามไฟฟ้า

(ข) แบบรูปสองมิติสนามแม่เหล็ก



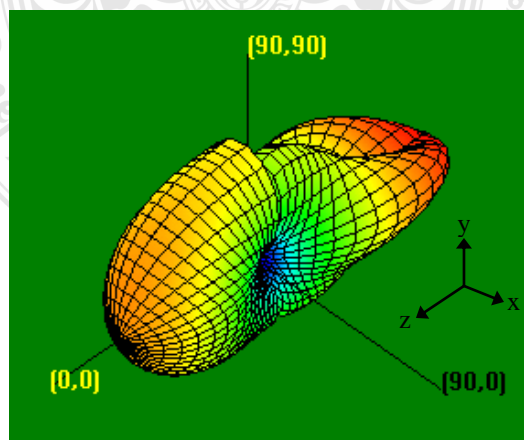
(ค) แบบรูปสามมิติ สนามรวม

รูปที่ 3.21 แบบรูปจำลองการแผ่สนามระยะไกล เมื่อกราวด์เป็นอนันต์ ที่ความถี่ 2.44 GHz



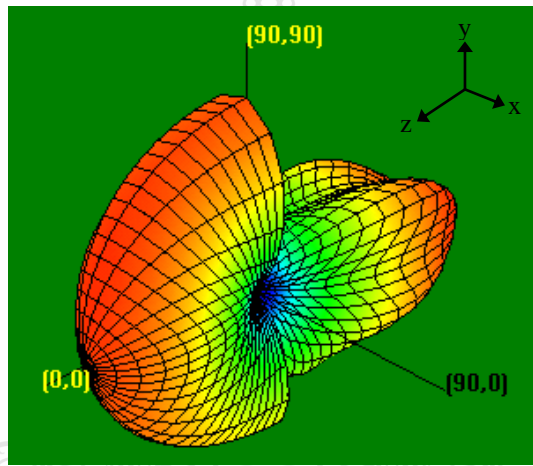
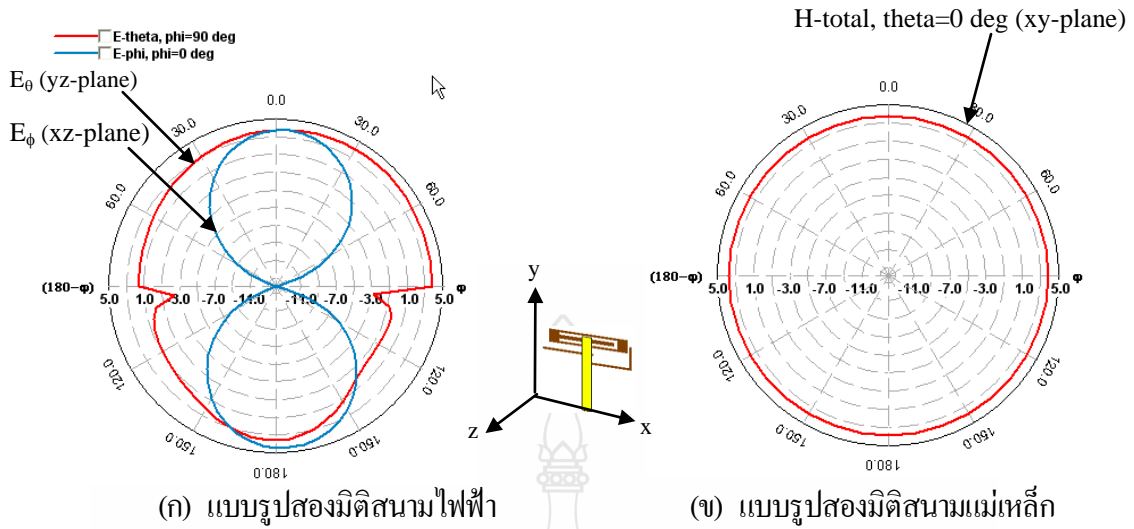
(ก) แบบรูปสองมิติสนามไฟฟ้า

(จ) แบบรูปสองมิติสนามแม่เหล็ก



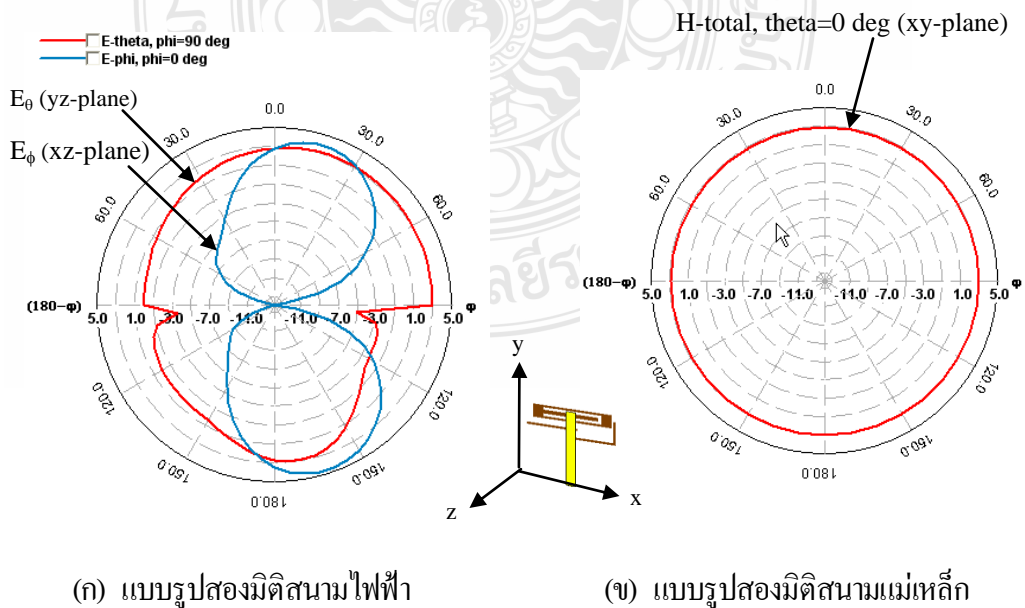
(ค) แบบรูปสามมิติ สนามรวม

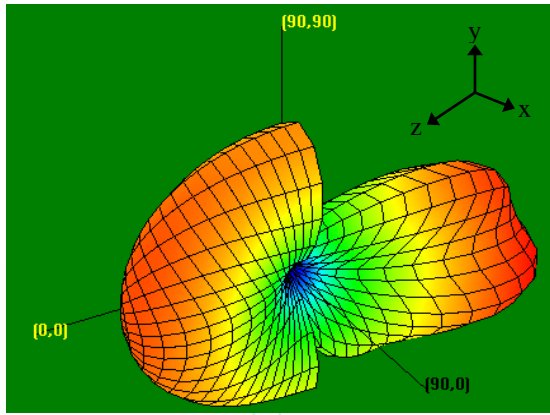
รูปที่ 3.22 แบบรูปจำลองการแผ่สนามระยะไกล เมื่อกราวด์เป็นอนันต์ ที่ความถี่ 3.5 GHz



(ค) แบบรูปสามมิติ สนามรวม

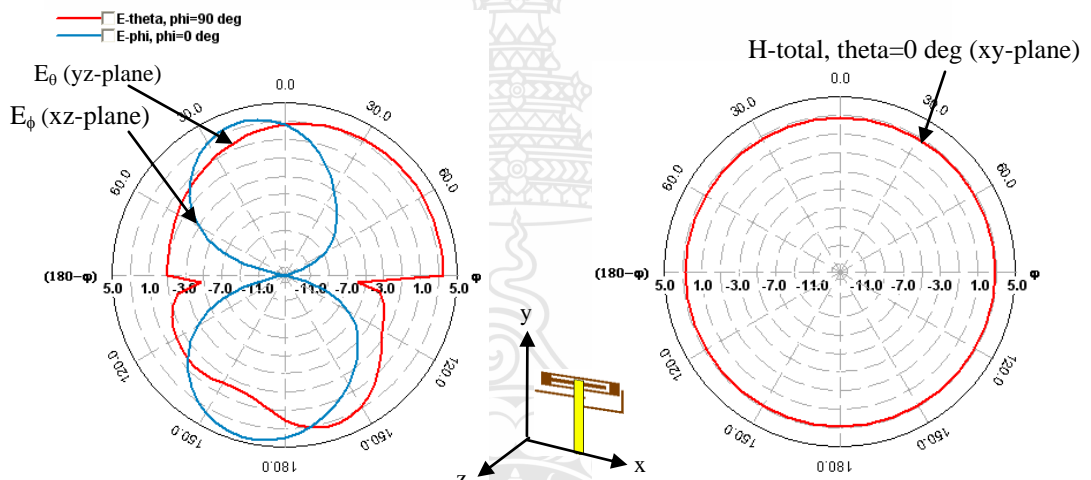
รูปที่ 3.23 แบบรูปจำลองการแผ่สนามระยะไกล เมื่อกราวด์เป็นอนันต์ ที่ความถี่ 4.99 GHz





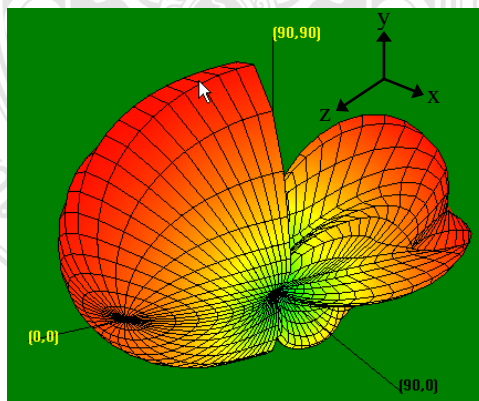
(ค) แบบรูปสามมิติ สนามรวม

รูปที่ 3.24 แบบรูปจำลองการแผ่สนามระยะไกล เมื่อกราวด์เป็นอนันต์ ที่ความถี่ 5.25 GHz



(ก) แบบรูปสองมิติสนามไฟฟ้า

(จ) แบบรูปสองมิติสนามแม่เหล็ก



(ค) แบบรูปสามมิติ สนามรวม

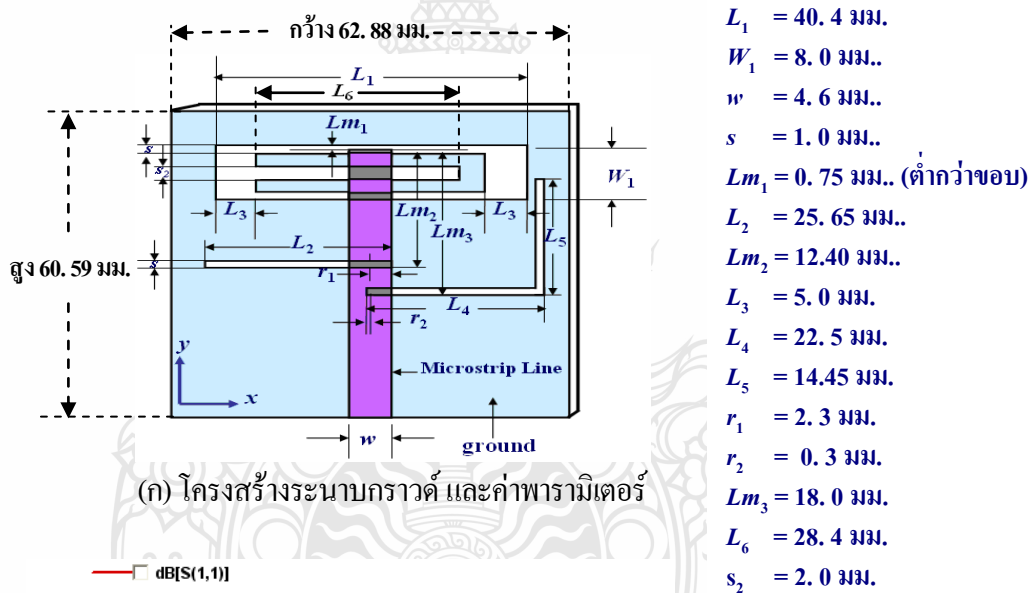
รูปที่ 3.25 แบบรูปจำลองการแผ่สนามระยะไกล เมื่อกราวด์เป็นอนันต์ ที่ความถี่ 5.8 GHz

### 3.8 การจำลองสายอากาศช่องเปิด 5 แถบความถี่มาตรฐาน เมื่อกำหนดระนาบกราวด์

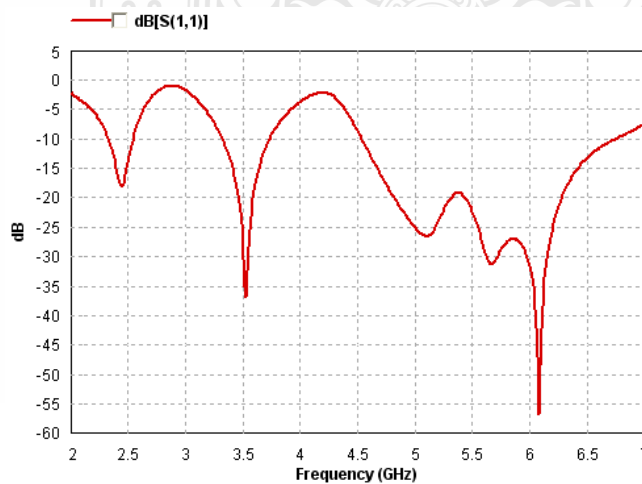
ในหัวข้อนี้ จะเป็นการนำสายอากาศช่องเปิดสำหรับห้าแถบความถี่มาตรฐานซึ่งมีระนาบกราวด์เป็นอนันต์ที่ได้ผ่านการวิเคราะห์มาแล้ว มาทำการกำหนดขนาดของระนาบกราวด์เพื่อจะได้นำไปทำการสร้างจริง โดยจะให้ระนาบกราวด์มีขนาดไม่ใหญ่มากนักและผลที่ได้จากการจำลองในหัวข้อนี้จะต้องใกล้เคียงกับกรณีที่มีระนาบกราวด์เป็นอนันต์ หรือก็คือสามารถนำไปใช้งานได้ครอบคลุม ตลอดห้าแถบความถี่มาตรฐานใช้งานด้วยเช่นกัน

#### 3.8.1 การเปลี่ยนแปลงขนาดของระนาบกราวด์

ขั้นแรกจะกำหนดขนาดของระนาบกราวด์ด้านข้างและด้านบนห่างจากช่องเปิดตัวแรก ด้านละ  $0.125\lambda_g$  ของความถี่ 2.44 GHz (11.24 มิลลิเมตร) ซึ่งพารามิเตอร์ทั้งหมดของสายอากาศจะแสดงอยู่ในรูปที่ 3.26 (ก) ในขั้นตอนนี้จะกำหนดให้ระนาบกราวด์กว้าง 62.88 มม. และสูง 60.59 มม. ผลการสูญเสียย้อนกลับที่ได้จากการจำลองแสดงดังรูปที่ 3.26 (ข)



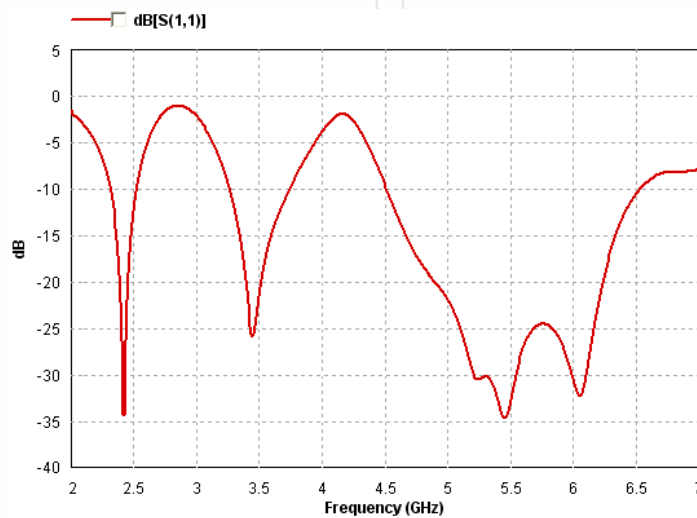
(ก) โครงสร้างระนาบกราวด์ และค่าพารามิเตอร์



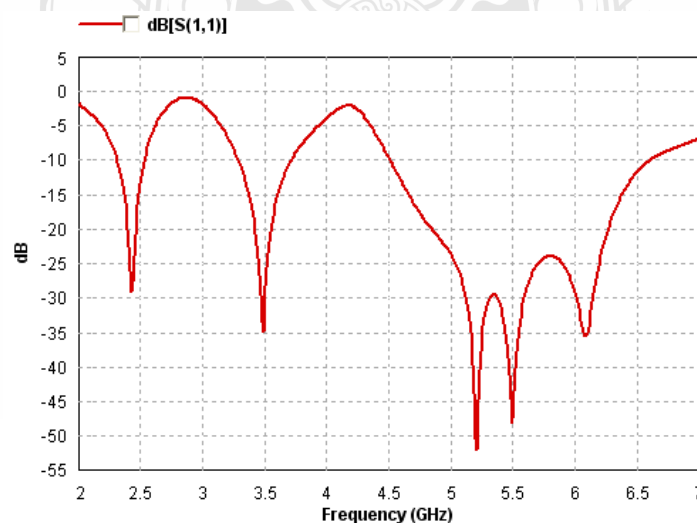
(ข) การสูญเสียย้อนกลับ  $S_{11}$  เมื่อระนาบกราวด์กว้าง 62.88 มิลลิเมตร และสูง 60.59 มิลลิเมตร

รูปที่ 3.26 สายอากาศห้าแถบความถี่มาตรฐาน และผลการจำลอง

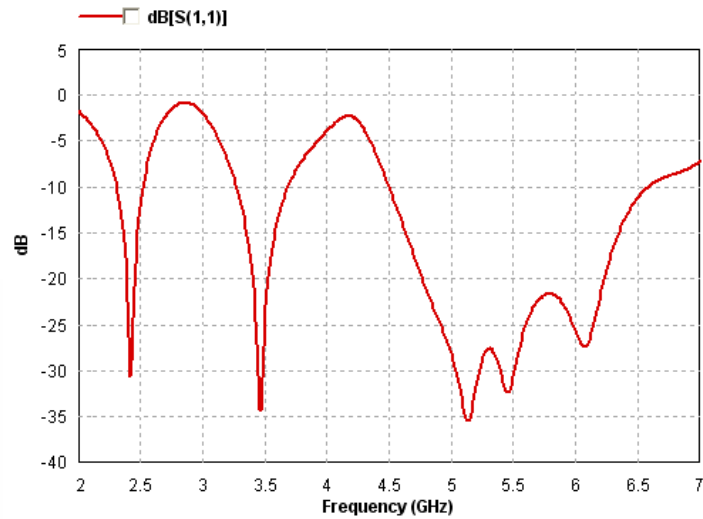
การสูญเสียย้อนกลับเมื่อระนาบกราวด์กว้าง 62.88 มิลลิเมตร และสูง 60.59 มิลลิเมตร ในรูปที่ 3.26 แสดงให้เห็นได้ว่ามีแถบความถี่เกิดขึ้นสามแถบความถี่ โดยที่แบนด์วิดท์ของแต่ละแถบความถี่ครอบคลุมมาตรฐานที่ต้องการ แต่การสูญเสียย้อนกลับที่แถบความถี่ 2.4 GHz และ 3.5 GHz ยังไม่ดีเท่ากับผลการจำลองเมื่อกำหนดระนาบกราวด์เป็นอนันต์ ดังนั้นจึงต้องทำการปรับเปลี่ยนขนาดของระนาบกราวด์ใหม่ เพื่อให้ได้ผลค่าการสูญเสียย้อนกลับจากการจำลองแบบดีที่สุด ในการจำลองผลขั้นต่อไปจึงทดลองปรับเปลี่ยนขนาดของระนาบกราวด์ให้มีขนาดต่าง ๆ ตั้งแต่ขนาดใหญ่ขึ้นและเล็กลงกว่าที่ได้แสดงไว้ในรูปที่ 3.26 (ก) จนกว่าจะได้ผลการสูญเสียย้อนกลับน้อยที่สุดตามต้องการ การจำลองแบบดังกล่าว แสดงดังรูปที่ 3.27-3.30



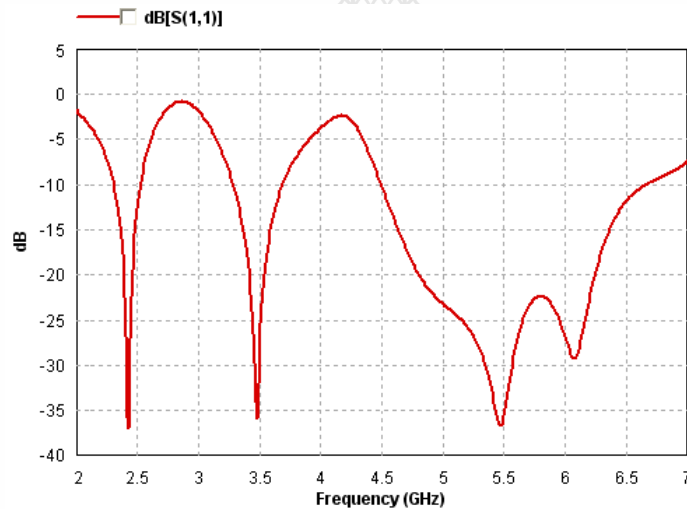
รูปที่ 3.27 การสูญเสียย้อนกลับเมื่อระนาบกราวด์กว้าง 85.36 มิลลิเมตร และสูง 60.59 มิลลิเมตร



รูปที่ 3.28 การสูญเสียย้อนกลับเมื่อระนาบกราวด์กว้าง 74.00 มิลลิเมตร และสูง 60.00 มิลลิเมตร



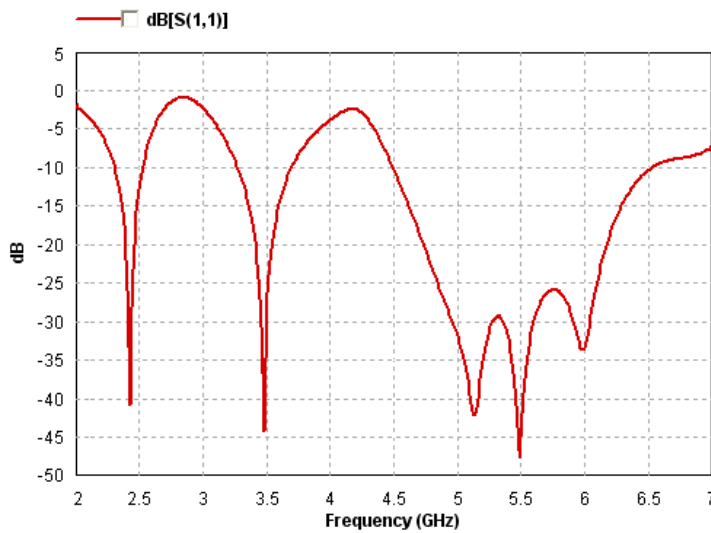
รูปที่ 3.29 การสูญเสียย้อนกลับเมื่อระนาบกราวด์กว้าง 74.00 มิลลิเมตร และสูง 57.00 มิลลิเมตร



รูปที่ 3.30 การสูญเสียย้อนกลับเมื่อระนาบกราวด์กว้าง 70.00 มิลลิเมตร และสูง 57.00 มิลลิเมตร

จากรูปที่ 3.26 – 3.30 เป็นการแสดงการสูญเสียย้อนกลับที่ได้จากการกำหนดขนาดระนาบกราวด์ที่แตกต่างกัน โดยใช้พารามิเตอร์ทางขนาดเหมือนกับสายอากาศที่ได้ออกแบบให้ระนาบกราวด์เป็นอนันต์ (รูปที่ 3.16) ผลการจำลองแสดงให้เห็นได้ว่า ขนาดของระนาบกราวด์จะมีผลต่อการสูญเสียย้อนกลับมาก และแทบจะไม่มีผลต่อความถี่เรโซแนนซ์ที่เกิดขึ้นเลย และเพื่อให้ได้ผลการจำลองที่ดีกว่าที่แสดงในรูปที่ 3.30 ระยะ  $r_2$  (หรือความยาว  $L_4$ ) จะถูกปรับแต่งโดยคงขนาดของระนาบกราวด์และพารามิเตอร์อื่น ๆ ไว้เหมือนเดิม การเปลี่ยนค่า  $r_2$  จาก 0.3 มิลลิเมตร ให้มากขึ้นหรือก็คือทำให้ความยาว  $L_4$  ยาวขึ้นตามค่า  $r_2$  ที่มากขึ้น แทบจะไม่มีผลต่อความถี่หรือแบนด์วิดท์เลย ผลที่ได้รับเมื่อ  $r_2 = 0.55$  มม. จะดีขึ้นกว่าเดิม ดังที่แสดงในรูปที่ 3.31 โดยมีค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ แสดงอยู่ทางขวามือของรูปที่ 3.31





- $L_1 = 40.4$  มม.
- $W_1 = 8.0$  มม.
- $w = 4.6$  มม.
- $s = 1.0$  มม.
- $Lm_1 = 0.75$  มม. (ต่ำกว่าขอบ)
- $L_2 = 25.65$  มม.
- $Lm_2 = 12.40$  มม.
- $L_3 = 5.0$  มม.
- $L_4 = 22.75$  มม.
- $L_5 = 14.45$  มม.
- $r_1 = 2.3$  มม.
- $r_2 = 0.55$  มม.
- $Lm_3 = 18.0$  มม.
- $L_6 = 28.4$  มม.
- $s_2 = 2.0$  มม.

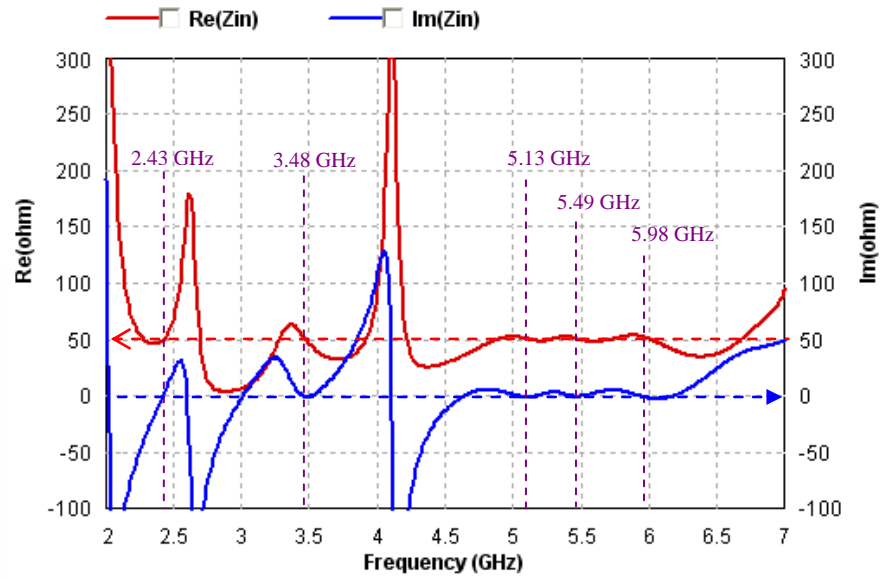
รูปที่ 3.31 การสูญเสียย้อนกลับเมื่อระนาบกราวด์กว้าง 70 มิลลิเมตร สูง 57 มิลลิเมตร และระยะ  $r_2=0.55$  มิลลิเมตร ( $L_4 = 22.75$  มิลลิเมตร)

ผลการจำลองการสูญเสียย้อนกลับ  $S_{11}$  ในรูปที่ 3.31 จะมีความถี่เรโซแนนซ์ 5 ความถี่ คือความถี่ 2.43 GHz , 3.48 GHz , 5.13 GHz , 5.49 GHz และ 5.98 GHz โดยค่าความถี่เรโซแนนซ์ พร้อมค่าการสูญเสียย้อนกลับ และความกว้างของแถบความถี่ จะแสดงในตารางที่ 3.12 ซึ่งสายอากาศนี้จะถูกนำไปสร้างและวัดผลเปรียบเทียบกับผลการจำลองในรูปที่ 3.31 ต่อไป

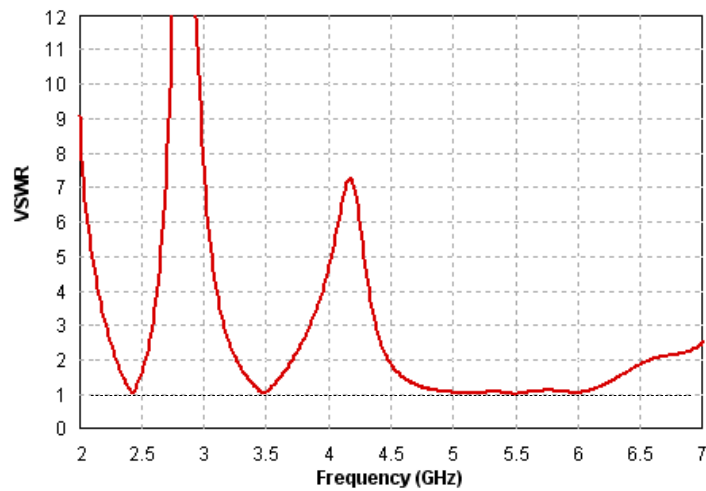
ตารางที่ 3.12 คุณสมบัติที่สำคัญของสายอากาศห้าแถบความถี่มาตรฐาน เมื่อระนาบกราวด์กว้าง 70 มิลลิเมตร และสูง 57 มิลลิเมตร

แถบความถี่	Resonance Freq (GHz)	Bandwidth (GHz)	$S_{11}$ (dB)
ที่ 1 (ความถี่ต่ำ)	2.43	0.21 (2.31-2.52)	-40.89
ที่ 2 (ความถี่กลาง)	3.48	0.41 (3.28-3.69)	-44.18
ที่ 3 (ความถี่สูง)	5.13	2.02 (4.5-6.52)	-42.11
	5.49		-47.59
	5.98		-33.74

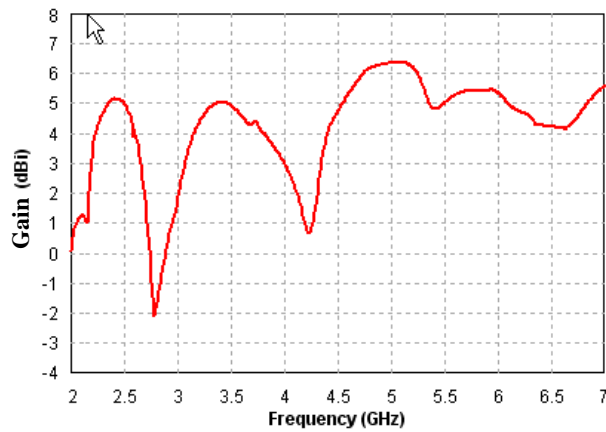
สำหรับคุณสมบัติอื่น ๆ ได้แก่ อินพุตอิมพีแดนซ์ ( $Z_{in}$ ) อัตราส่วนแรงดันคลื่นนิ่ง (VSWR) และอัตราขยาย (Gain) ของสายอากาศแบบห้าแถบความถี่มาตรฐานใช้งานที่มีความกว้างของระนาบกราวด์ 70.00 มิลลิเมตร และสูง 57.00 มิลลิเมตร จะถูกแสดงอยู่ในรูปที่ 3.32- 3.34 และผลเชิงตัวเลขแสดงอยู่ในตารางที่ 3.13



รูปที่ 3.32 อินพุตอิมพีแดนซ์ เมื่อระนาบกราวด์กว้าง 70.00 มิลลิเมตร และสูง 57.0 มิลลิเมตร ( $r_2=0.55$  มม.)



รูปที่ 3.33 อัตราส่วนแรงดันคลื่นนิ่งเมื่อระนาบกราวด์กว้าง 70 มิลลิเมตรและสูง 57 มิลลิเมตร( $r_2=0.55$  มม.)



รูปที่ 3.34 อัตราขยาย (Gain) เมื่อระนาบกราวด์กว้าง 70 มิลลิเมตร และสูง 57 มิลลิเมตร ( $r_2=0.55$  มม.)

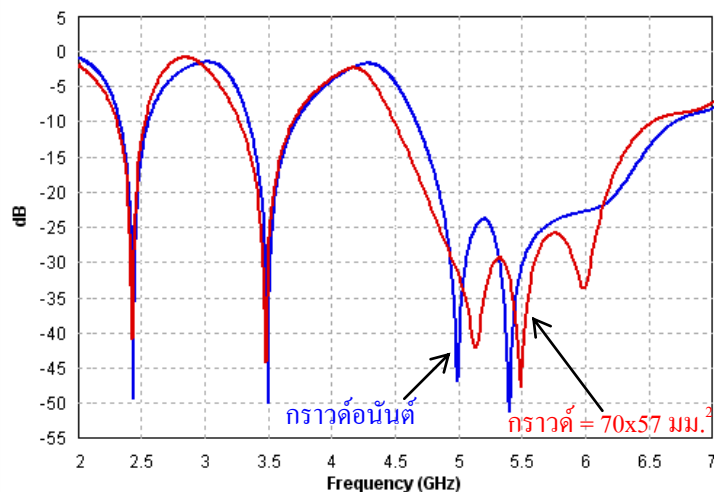
ถ้าระบุความถี่กึ่งกลางของแถบความถี่มาตรฐาน WLAN และ WiMAX ก็จะทำให้การสูญเสียย้อนกลับและคุณลักษณะของสายอากาศอื่น ๆ ที่จำลองได้เปลี่ยนไปจากความถี่เรโซแนนซ์ที่ได้แสดงไว้ในตารางที่ 3.12 ผลที่ได้ ณ กึ่งกลางแถบความถี่มาตรฐาน จะแสดงในตารางที่ 3.13

ตารางที่ 3.13 คุณลักษณะของสายอากาศแบบช่องเปิด ที่กึ่งกลางแถบความถี่มาตรฐานใช้งาน

ความถี่ (GHz)	$S_{11}$ (dB)	อิมพีแดนซ์ (โอห์ม)	VSWR
2.44	-28.24	51.40+j3.671	1.081
3.5	-29.64	46.83-j0.4126	1.068
4.99	-31.28	52.44+j1.361	1.056
5.25	-31.19	48.99+j2.537	1.057
5.8	-26.14	52.48+j4.409	1.104

### 3.8.2 การเปรียบเทียบสายอากาศระหว่างระนาบกราวด์เป็นอนันต์และไม่เป็นอนันต์

ผลการจำลองจากสายอากาศหัวแถบความถี่มาตรฐานใช้งานแบบที่มีกราวด์เป็นอนันต์ และแบบที่ขนาดของกราวด์กว้าง 70.00 มิลลิเมตร และสูง 57.00 มิลลิเมตร ถูกนำมาทำการเปรียบเทียบกัน ผลการเปรียบเทียบด้านการสูญเสียย้อนกลับ  $S_{11}$  แสดงดังรูปที่ 3.35 และความกว้างของแถบความถี่ทั้งสามแสดงในตารางที่ 3.14



รูปที่ 3.35 เปรียบเทียบการสูญเสียย้อนกลับระหว่างระนาบกราวด์อนันต์และขนาดกราวด์ 70x57 มม.<sup>2</sup>

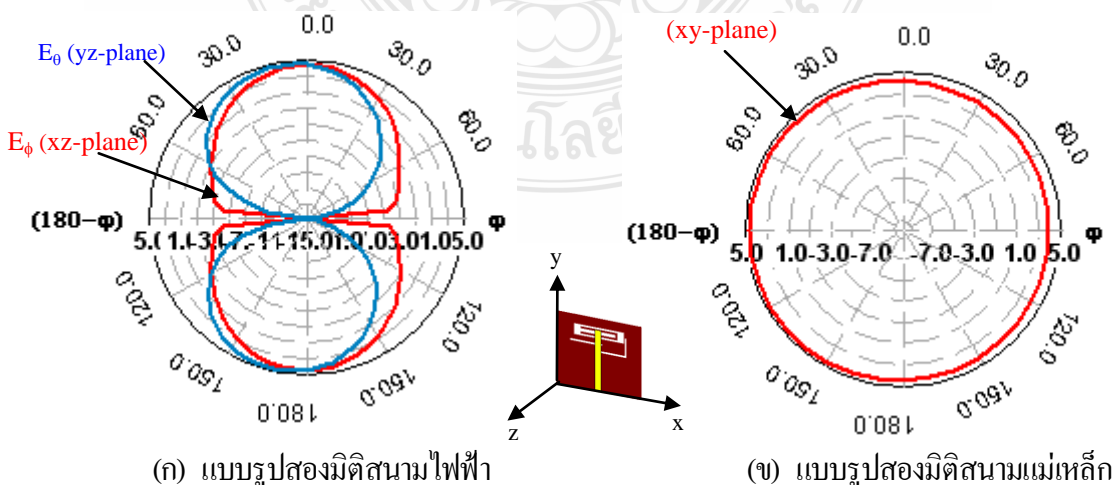
ตารางที่ 3.14 เปรียบเทียบแบนด์วิดท์ของสายอากาศเมื่อระนาบกราวด์เป็นอนันต์และไม่เป็นอนันต์

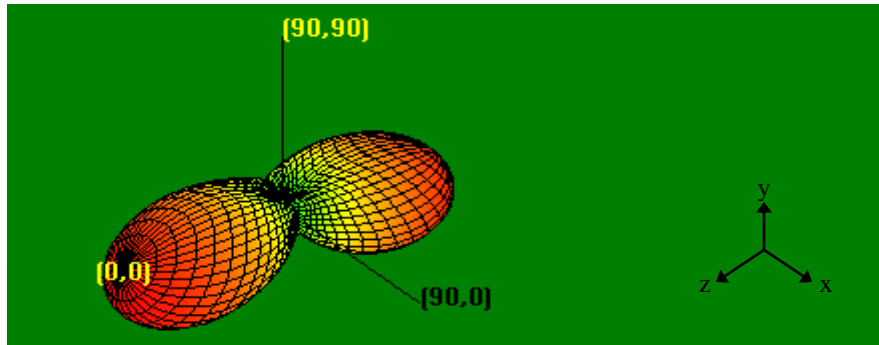
ระนาบกราวด์	แถบความถี่ที่ 1	แถบความถี่ที่ 2	แถบความถี่ที่ 3
	แบนด์วิดท์ (GHz)	แบนด์วิดท์ (GHz)	แบนด์วิดท์ (GHz)
อนันต์	0.220 (2.335-2.555)	0.365 (3.35-3.715)	2.03 (4.67-6.7 GHz)
70X57 มม. <sup>2</sup>	0.210 (2.31-2.52)	0.410 (3.28-3.69)	2.02 (4.50-6.52 GHz)

ตารางที่ 3.14 เป็นตารางเปรียบเทียบความกว้างของแถบความถี่ (แบนด์วิดท์) จะเห็นได้ว่าเมื่อกำหนดระนาบกราวด์เป็นอนันต์กับระนาบกราวด์ที่มีความกว้าง 70 มิลลิเมตร และมีความสูง 57 มิลลิเมตร ที่แถบความถี่แรก (ย่านความถี่ 2.4 GHz) จะมีแบนด์วิดท์เกือบเท่ากันแต่ขอบเขตและความถี่เรโซแนนซ์จะต่างกันเล็กน้อย ที่แถบความถี่ที่ 2 (ย่านความถี่ 3.5 GHz) แบนด์วิดท์เมื่อระนาบกราวด์ไม่เป็นอนันต์จะกว้างกว่า และมีความถี่เรโซแนนซ์ต่ำกว่าความถี่กึ่งกลางมาตรฐานเล็กน้อย และที่แถบความถี่ที่ 3 ซึ่งเป็นย่านความถี่สูงที่สุดของการออกแบบ แบนด์วิดท์เมื่อระนาบกราวด์ไม่เป็นอนันต์จะแคบกว่าเล็กน้อย ผลการเปรียบเทียบทั้งหมดนี้แสดงให้เห็นว่า เมื่อระนาบกราวด์เป็นอนันต์และระนาบกราวด์มีขนาดตามที่กำหนดนี้ จะมีความแตกต่างกันไม่มากนัก ซึ่งทั้งสองรูปแบบนี้สามารถนำไปใช้งานได้ทั้งในสามแถบความถี่มาตรฐานใช้งาน

### 3.9 แบบรูปการแผ่สนามระยะไกลเมื่อระนาบกราวด์ไม่เป็นอนันต์

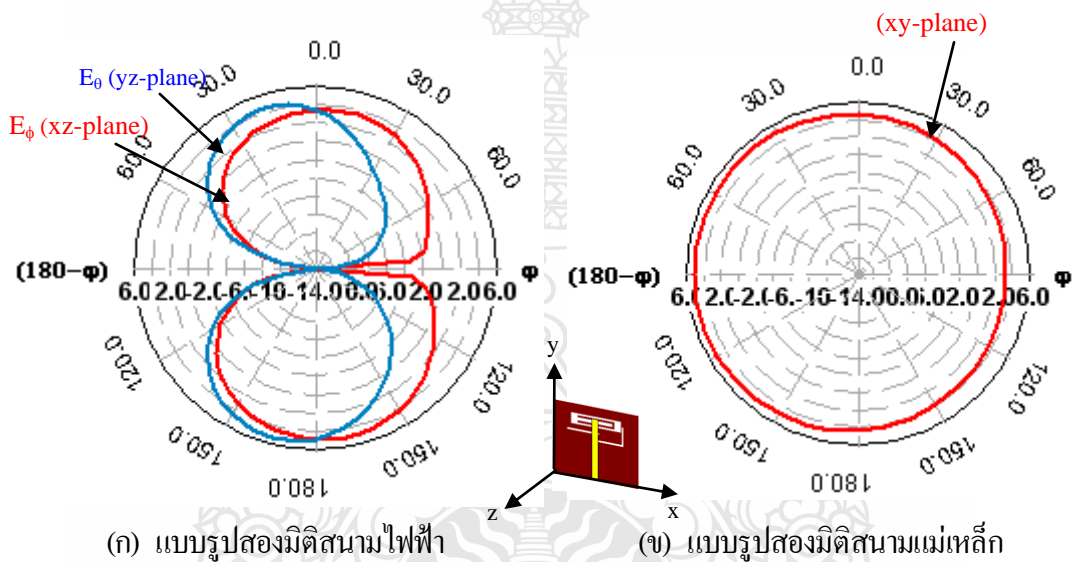
แบบจำลองของสายอากาศที่กำหนดระนาบกราวด์กว้าง 70 มิลลิเมตร และสูง 57 มิลลิเมตร ที่ได้ผ่านการวิเคราะห์มานี้ จะถูกนำมาหาแบบรูปการแผ่พลังงานสนามที่ 5 ความถี่ ซึ่งเป็นความถี่มาตรฐานใช้งานใน WLAN และ WiMAX ในลักษณะแบบรูปการแผ่พลังงาน 2 มิติ และ 3 มิติ ที่ความถี่มาตรฐาน 2.44 GHz, 3.5 GHz, 4.99 GHz, 5.25 GHz และ 5.8 GHz ดังรูปที่ 3.36-3.40 โดยให้แบบรูปการแผ่สนามบนระนาบ xy อยู่ในทิศที่มีการชี้ทิศทางสูงสุด (Maximum directivity)





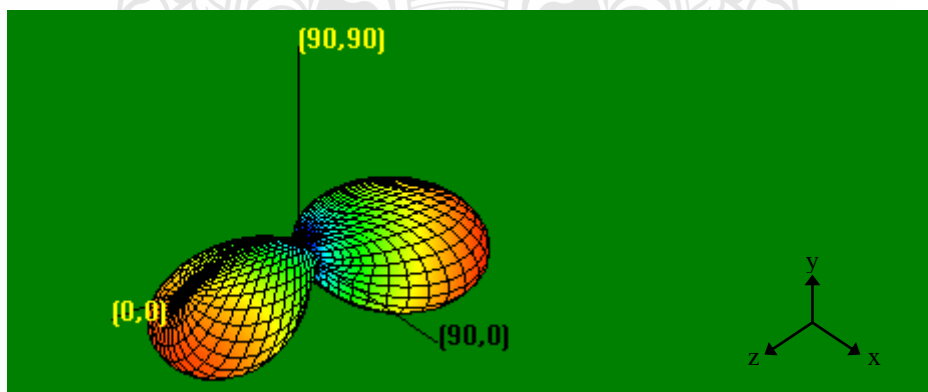
(ค) แบบรูปสามมิติ สนามรวม

รูปที่ 3.36 แบบรูปจำลองการแผ่สนามระยะไกลเมื่อกรวดไม่ใช่อนันต์ ที่ความถี่ 2.44 GHz



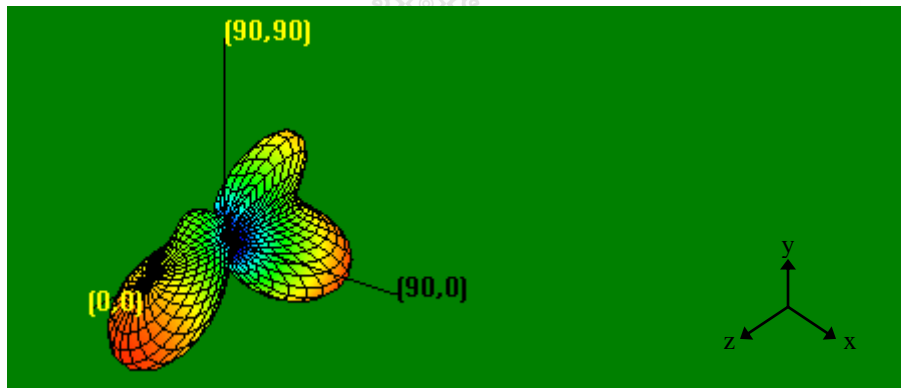
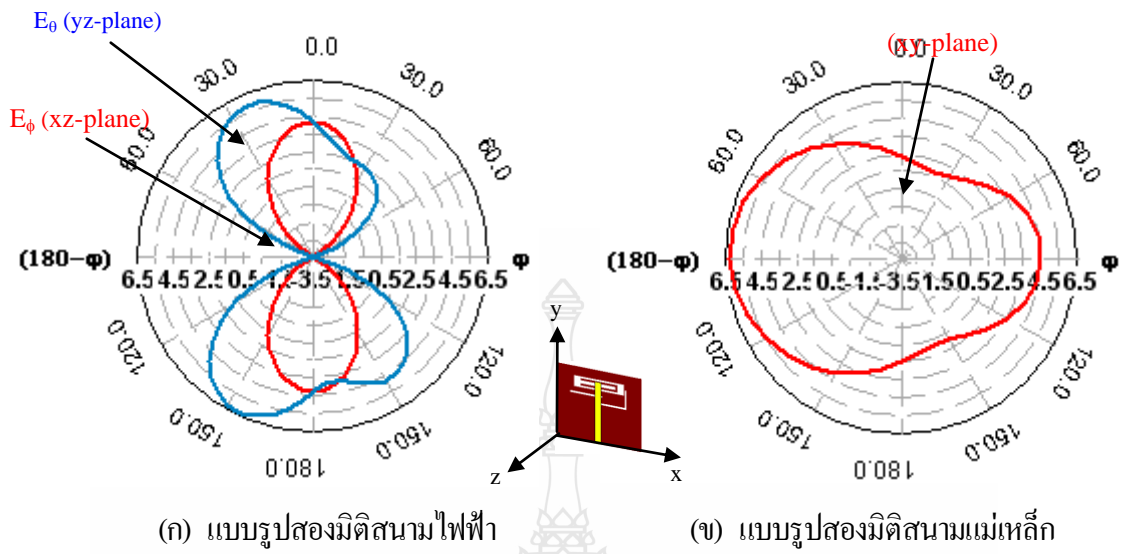
(ก) แบบรูปสองมิติสนามไฟฟ้า

(ข) แบบรูปสองมิติสนามแม่เหล็ก

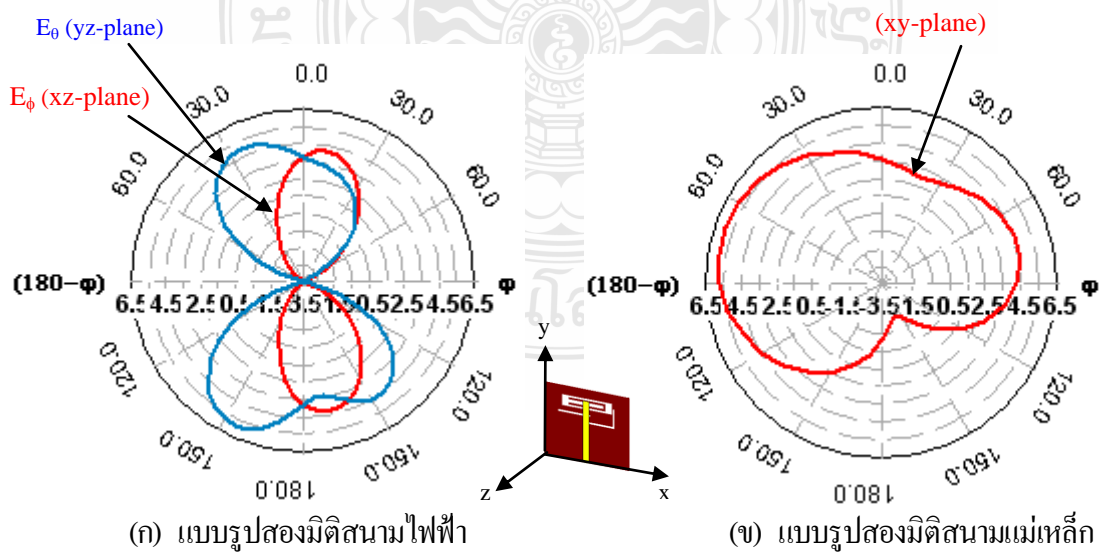


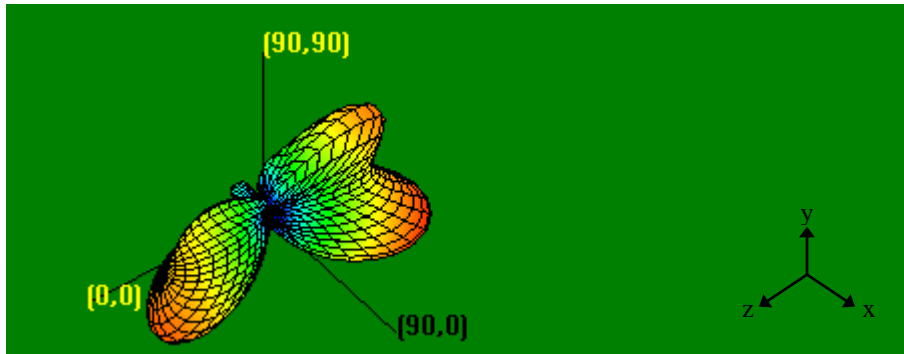
(ค) แบบรูปสามมิติ สนามรวม

รูปที่ 3.37 แบบรูปจำลองการแผ่สนามระยะไกล ที่ความถี่ 3.5 GHz



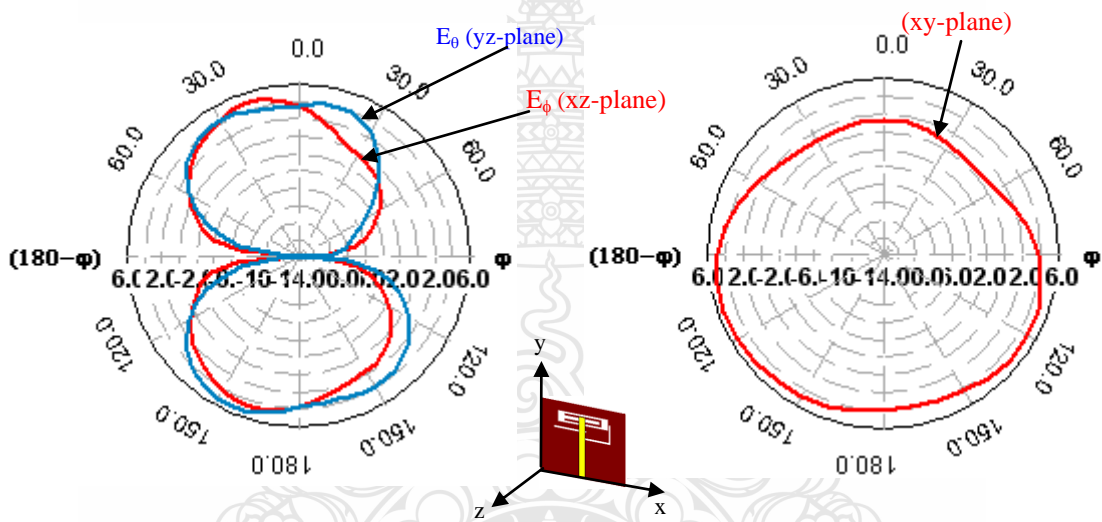
รูปที่ 3.38 แบบรูปจำลองการแผ่พลังงานที่ความถี่ 4.99 GHz





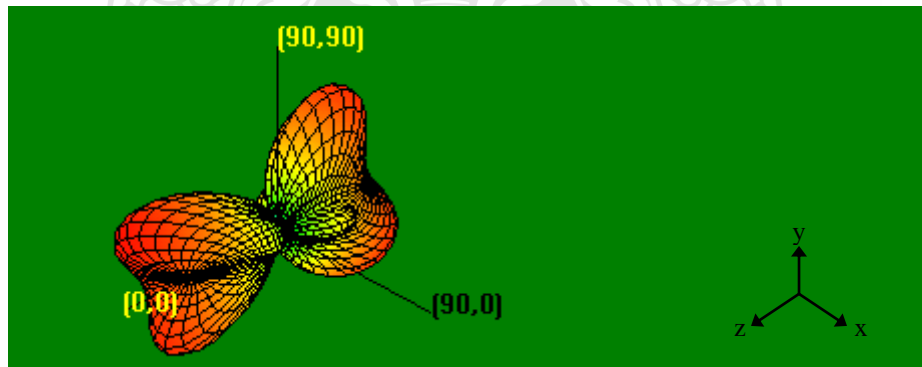
(ค) แบบรูปสามมิติ สนามรวม

รูปที่ 3.39 แบบรูปจำลองการแผ่พลังงานที่ความถี่ 5.25 GHz



(ก) แบบรูปสองมิติสนามไฟฟ้า

(ข) แบบรูปสองมิติสนามแม่เหล็ก



(ค) แบบรูปสามมิติ สนามรวม

รูปที่ 3.40 แบบรูปจำลองการแผ่พลังงานที่ความถี่ 5.8 GHz

### 3.10 สรุปผลการออกแบบสายอากาศสำหรับหลายแถบความถี่มาตรฐาน

ขั้นตอนการออกแบบสายอากาศช่องเปิดสามตัวในสามแถบความถี่ที่สามารถรองรับการใช้งานในห้าแถบความถี่มาตรฐาน WLAN และ WiMAX ที่ได้ผ่านการวิเคราะห์ในบทนี้ เป็นการกล่าวถึงและแสดงผลที่ได้จากการจำลองแบบ โดยเริ่มต้นจากการกำหนดระนาบกราวด์เป็นอนันต์ก่อน ทั้งนี้เพื่อให้การจำลองแบบทำได้อย่างรวดเร็ว จนได้ค่าการสูญเสียย้อนกลับจากการจำลองแบบดีที่สุด จากนั้นนำขนาดและรูปแบบสายอากาศนี้ไปทำการจำลองผลด้วยการกำหนดขนาดของระนาบกราวด์หลายๆขนาด เพื่อหาค่าการสูญเสียย้อนกลับที่ดีที่สุด สุดท้ายนำขนาดสายอากาศที่ได้ผ่านการจำลองที่ให้ผลที่ดีที่สุดไปสร้างสายอากาศจริงต่อไป





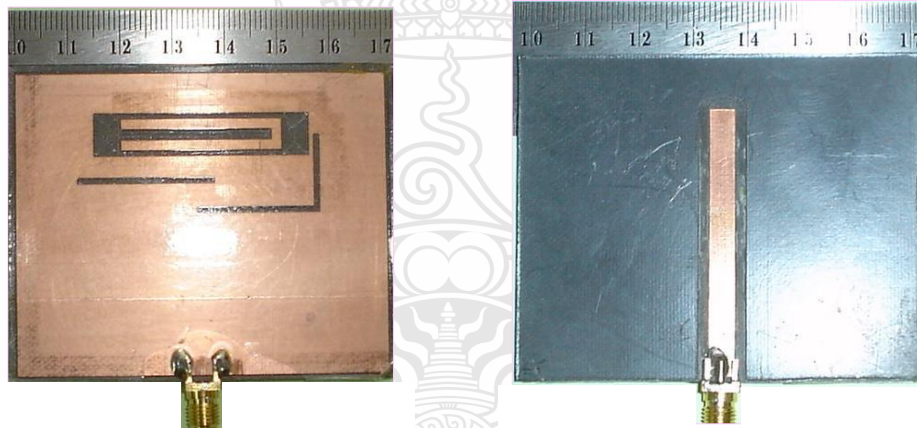
## บทที่ 4

### ผลการวัดสายอากาศ

#### 4.1 บทนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงผลการวัดสายอากาศแบบช่องเปิดสามตัวในสามแถบความถี่ ที่สร้างจากวัสดุฐานรองชนิด RT/Duroid 5880 โดยใช้รูปแบบสายอากาศที่ได้ผ่านการจำลองและวิเคราะห์มาจากบทที่ 3 เครื่องวิเคราะห์โครงข่าย (Network Analyzer) จะถูกนำมาใช้ในการวัดคุณลักษณะที่สำคัญของสายอากาศ คือ การสูญเสียย้อนกลับ (return loss:  $S_{11}$ ) และแบบรูปการแผ่กระจายสนามระยะไกล จากนั้นจะนำผลการสูญเสียย้อนกลับระหว่างการจำลองและการวัดมาเปรียบเทียบกัน

#### 4.2 สายอากาศช่องเปิดสามแถบความถี่บน RT/Duroid 5880



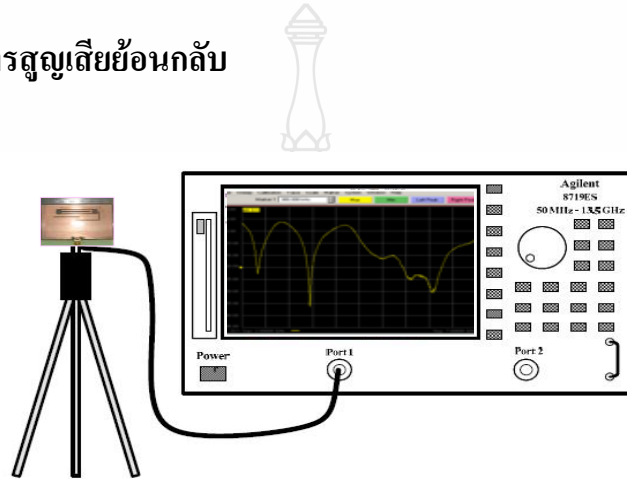
(ก) สายอากาศบนระนาบกราวด์ (ข) ระนาบสายนำสัญญาณไมโครสตริปไลน์

รูปที่ 4.1 ชิ้นงานสายอากาศที่สร้างขึ้น

รูปที่ 4.1 เป็นรูปชิ้นงานสายอากาศที่สร้างขึ้นจริง รูปซ้ายมือ รูปที่ 4.1(ก) แสดงสายอากาศแบบช่องเปิดสามตัวที่ถูกสร้างอยู่บนระนาบกราวด์ที่กว้าง 70 มิลลิเมตร และสูง 57 มิลลิเมตร ช่องเปิดตัวแรกเป็นช่องเปิดที่จัดวางให้อยู่บนสุดของระนาบกราวด์ที่ตอบสนองต่อความถี่ต่ำ 2.44 GHz ช่องเปิดนี้ ถูกแทรกด้วยโลหะคล้ายรูปตัวยูแคบวางตะแคงข้างตามแนวกว้างตรงกลางของช่องเปิด สายอากาศรูปแบบนี้จะตอบสนองต่อความถี่สูงทำให้แถบความถี่กว้างมากขึ้น ช่องเปิดตัวที่สองเป็นช่องเปิดเส้นตรงแบบแคบวางอยู่ในตำแหน่งต่ำลงมาจากช่องเปิดตัวแรก ช่องเปิดตัวที่สองนี้ถูกออกแบบเพื่อให้ตอบสนองต่อความถี่สูง 5.25 GHz ส่วนช่องเปิดตัวที่สามเป็นช่องเปิดแบบแคบรูปมุมฉากที่มี

ความยาวของด้านไม่เท่ากัน โดยจะถูกจัดวางให้อยู่บนระนาบกราวด์ต่ำสุด และถูกออกแบบให้ตอบสนองต่อความถี่ 3.5 GHz ส่วนรูปที่ 4.1(ข) ทางขวามือ แสดงอิกระนาบของสายอากาศ ซึ่งเป็นระนาบของสายนำสัญญาณไมโครสตริปไลน์ที่มีความกว้าง 4.6 มิลลิเมตร และมีความสูง 48.6 มิลลิเมตร ด้านล่างสุดของระนาบทั้งสองถูกต่อเข้ากับหัวขั้วต่อ (Connector) ของสายอากาศที่ใช้ในย่านความถี่สูงซึ่งใช้สำหรับเชื่อมต่อกับสายส่งสัญญาณแบบโคแอกเซียลภายนอก

### 4.3 ผลการวัดค่าการสูญเสียย้อนกลับ



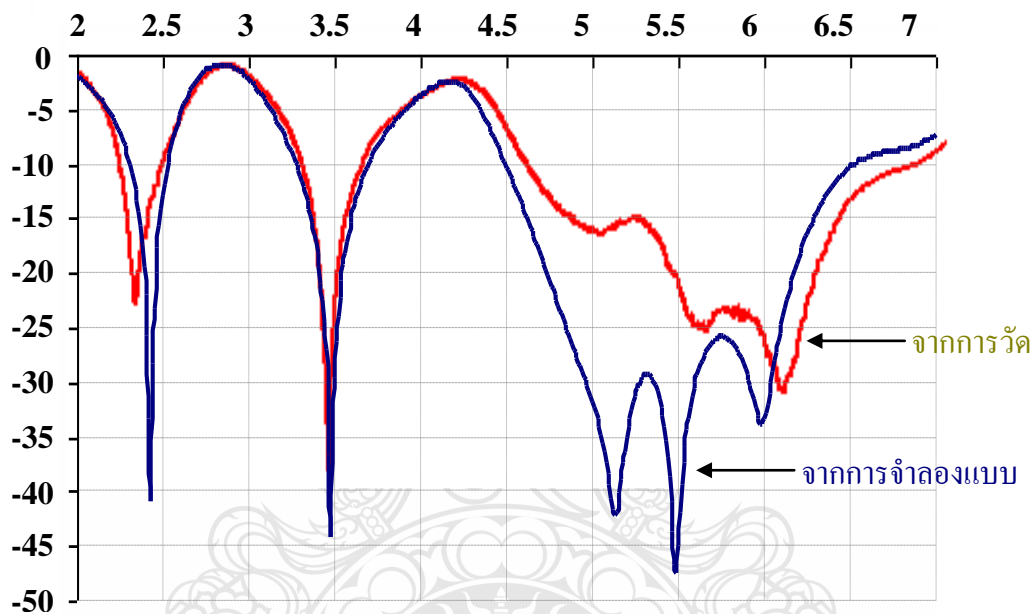
รูปที่ 4.2 การวัดค่าการสูญเสียย้อนกลับ

รูปที่ 4.2 แสดงการวัดค่าการสูญเสียย้อนกลับโดยใช้เครื่องวิเคราะห์โครงข่าย ค่าตั้งต้นของความถี่ที่วัดจะเริ่มต้นที่ 2.0 GHz และสิ้นสุดที่ 7.0 GHz และผลการวัดแสดงดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 การสูญเสียย้อนกลับจากการวัดด้วยเครื่องวิเคราะห์โครงข่าย

การสูญเสียย้อนกลับที่ได้จากการวัดด้วยเครื่องวิเคราะห์โครงข่าย (Network Analyzer) แสดงให้เห็นว่าสายอากาศที่สร้างขึ้นสามารถตอบสนองสามแถบความถี่มาตรฐาน คือ แถบความถี่ต่ำตามมาตรฐาน WLAN IEEE 802.11b/g (2.4-2.4845 GHz) โดยมีความถี่เรโซแนนซ์ 2.334 GHz (มี  $S_{11} = -22.76$  dB) แถบความถี่ที่สองตามมาตรฐาน WiMAX 3.5 GHz โดยมีความถี่เรโซแนนซ์ 3.444 GHz ( $S_{11} = -37.97$  dB) และแถบความถี่ที่สามซึ่งครอบคลุม 3 แถบความถี่มาตรฐาน คือ มาตรฐาน IEEE 802.11j (4.90-5.0 GHz, 5.03-5.091 GHz), IEEE 802.11 a (5.15-5.35 GHz), และ IEEE 802.11h (5.47-5.725 GHz, 5.725-5.825 GHz) การเปรียบเทียบการสูญเสียย้อนกลับระหว่างการจำลองและการวัดแสดงดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 เปรียบเทียบการสูญเสียย้อนกลับที่ได้จากการจำลองแบบและการวัด

จากรูปที่ 4.4 จะเห็นได้ว่า ความถี่เรโซแนนซ์ที่ได้จากการจำลองกับการวัดจะแตกต่างกันเล็กน้อย ส่วนย่านความถี่ แบนด์วิดท์ และค่าการสูญเสียย้อนกลับก็จะแตกต่างกันบ้างเช่นกัน ผลเชิงตัวเลขที่ได้จากการจำลองและการวัดจะแสดงไว้ในตารางที่ 4.1

อย่างไรก็ตาม แบนด์วิดท์จากการจำลองและการวัดก็ยังคงครอบคลุมทุกย่านความถี่มาตรฐานที่ต้องการ การที่ผลการจำลองและการวัดไม่เท่ากันทุกประการก็อาจเป็นเพราะ

- ในโปรแกรมใช้การประมาณค่าหาค่าขงการสูญเสียที่เกิดจากส่วนที่เป็นวัสดุฐานรองและโลหะ
- อาจจะมีผลจากความผิดพลาดที่เกิดจากการสร้าง โดยเฉพาะการเซาะร่องเพื่อเอาเนื้อโลหะหรือตัวนำออก อาจจะมีเซาะร่องลึกเกินไปยังเนื้อวัสดุฐานรอง
- วิธีการบัดกรีและหัวต่อที่ทำให้มีการสูญเสียเกิดขึ้นบ้าง
- Skin Effect โดยเฉพาะที่ความถี่สูงๆ ความต้านทานของพื้นผิวตัวนำสูงขึ้น ทำให้ค่าสูญเสียย้อนกลับสูงขึ้นตามไปด้วย

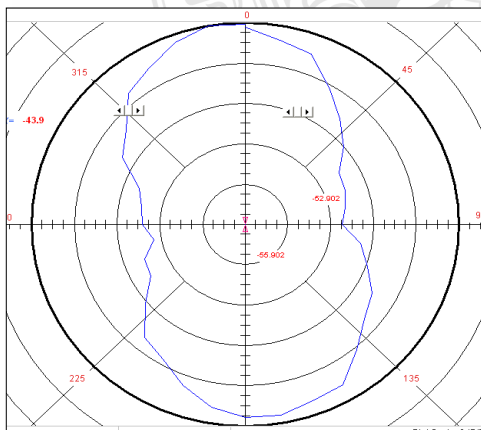
- ค่าการสูญเสียจากตัวนำ (Conductor Loss:  $Q_c \propto \pi \left(\frac{h}{\lambda}\right) \left(\frac{377\Omega}{R_s}\right)$ )
- ค่าการสูญเสียจากไดอิเล็กตริก (Dielectric Loss:  $Q_d \propto \pi \left(\frac{1}{\tan \delta}\right)$ )
- ค่าการสูญเสียจากการกระจายคลื่น (Radiation Loss :  $Q_r$ )

ตารางที่ 4.1 เปรียบเทียบคุณลักษณะสายอากาศระหว่างการจำลองแบบกับการวัด

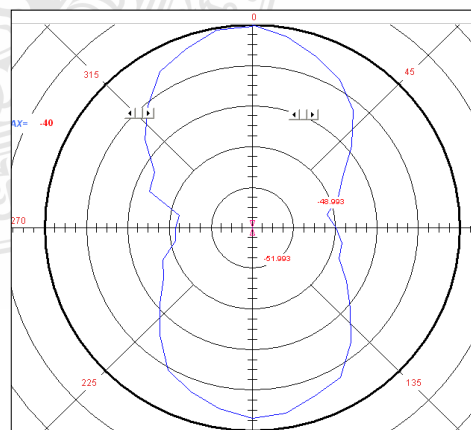
แถบความถี่	ผลที่ได้รับ	ความถี่เรโซแนนซ์ (GHz)	การสูญเสียย้อนกลับ (dB)	แบนด์วิดท์ (GHz)	ย่านความถี่ (GHz)
ที่ 1	จำลองแบบ	2.43	-40.89	0.21	2.31-2.52
	การวัด	2.334	-22.76	0.24	2.25-2.49
ที่ 2	จำลองแบบ	3.48	-44.18	0.41	3.28-3.69
	การวัด	3.444	-37.96	0.357	3.284-3.641
ที่ 3	จำลองแบบ	5.13	-42.11	2.02	4.5-6.52
		5.49	-47.59		
		5.98	-33.74		
	การวัด	5.0	-16.718	2.287	4.569-6.856
		5.622	-25.297		
		6.078	-30.8		

#### 4.4 ผลการวัดแบบรูปการแผ่สนามระยะไกล

ในการวัดแบบรูปการแผ่สนามระยะไกลจะวัดเป็นภาพ 2 มิติ และ 3 มิติ ที่ความถี่ 2.45 GHz, 3.5 GHz, 5.2 GHz และ 5.8 GHz แสดงดังรูปที่ 4.5 – รูปที่ 4.12

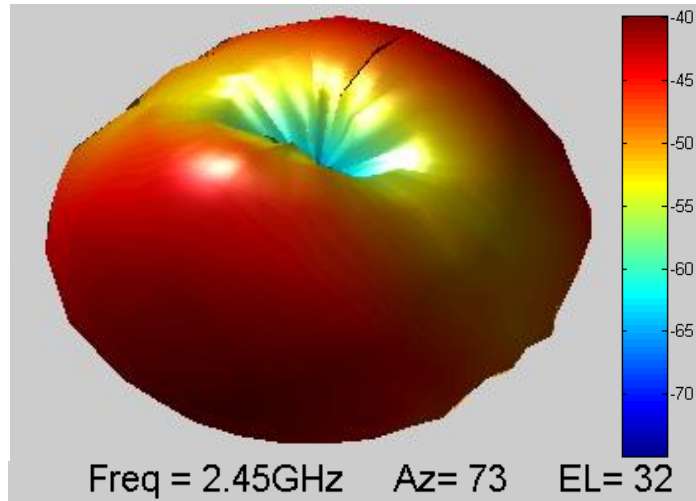


E-theta (AZ 0-360 EL 45, Gain -47.579558)

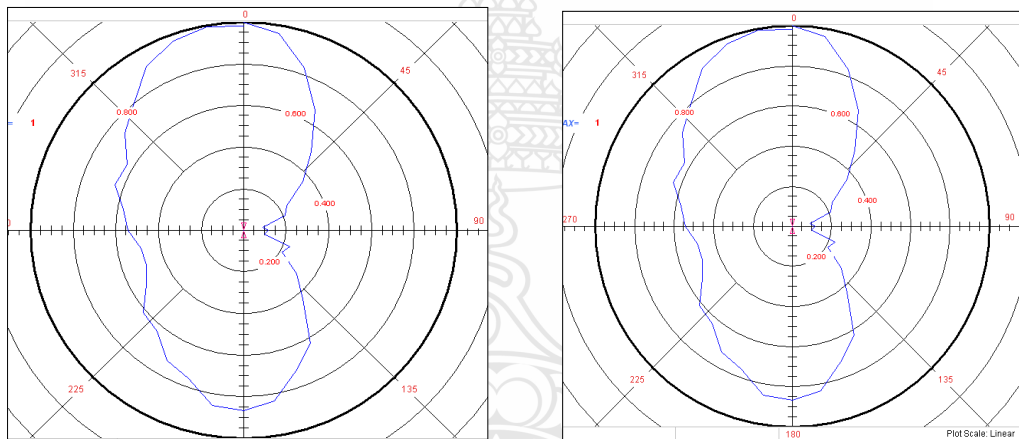


E-phi (AZ 0-360 EL 0, Gain -44.129084)

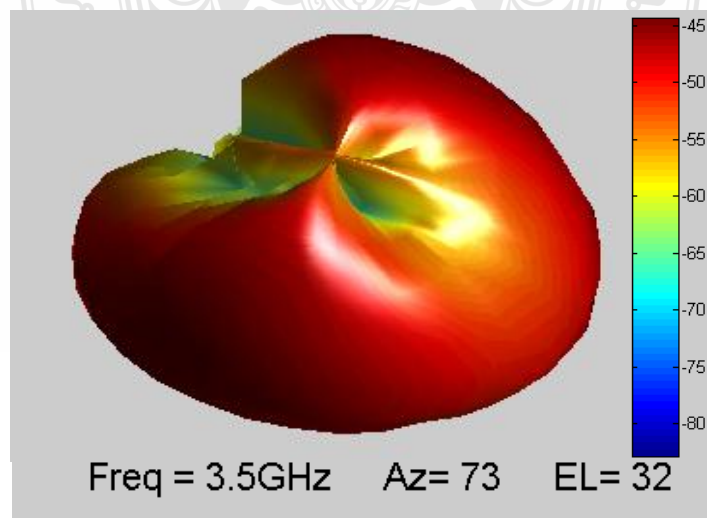
รูปที่ 4.5 แบบรูปการแผ่กระจายแบบ 2 มิติ ของสายอากาศที่ความถี่ 2.45 GHz



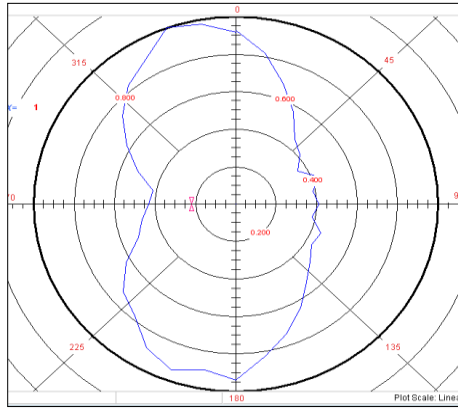
รูปที่ 4.6 แบบรูปการแผ่กระจายแบบ 3 มิติ ของสายอากาศที่ความถี่ 2.45 GHz



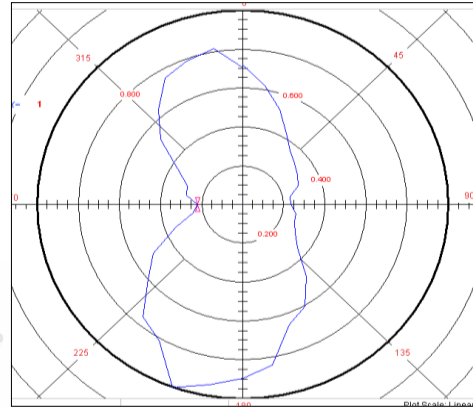
รูปที่ 4.7 แบบรูปการแผ่กระจายแบบ 2 มิติ ของสายอากาศที่ความถี่ 3.5 GHz



รูปที่ 4.8 แบบรูปการแผ่กระจายแบบ 3 มิติ ของสายอากาศที่ความถี่ 3.5 GHz

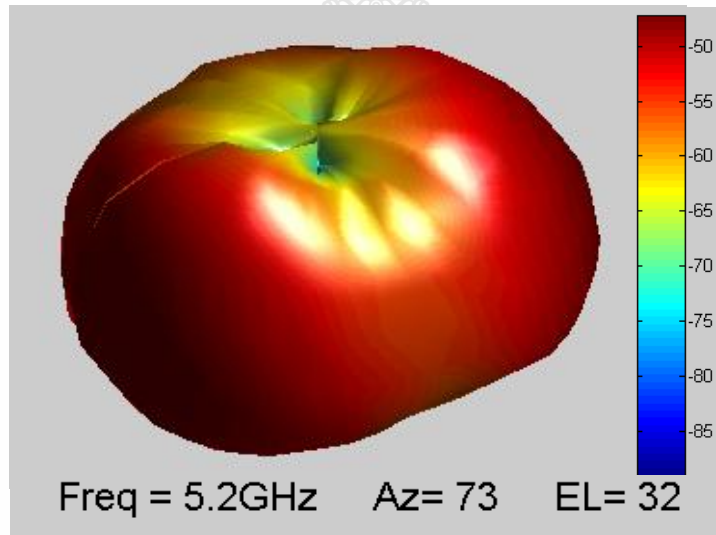


E-theta AZ 0-360 EL, Gain 0.002534)

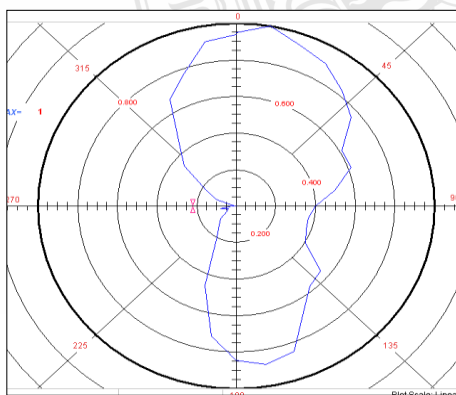


E-phi (AZ 0-360 EL -45, Gain 0.001819)

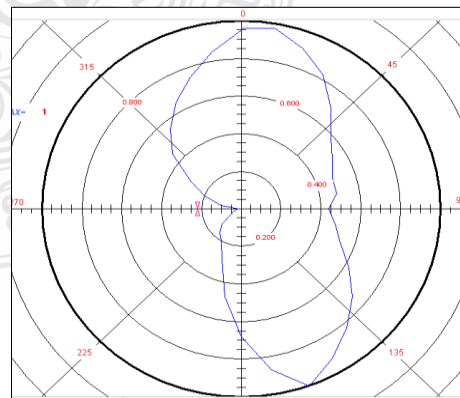
รูปที่ 4.9 แบบรูปการแผ่กระจายแบบ 2 มิติ ของสายอากาศที่ความถี่ 5.2 GHz



รูปที่ 4.10 แบบรูปการแผ่กระจายแบบ 3 มิติ ของสายอากาศที่ความถี่ 5.2 GHz

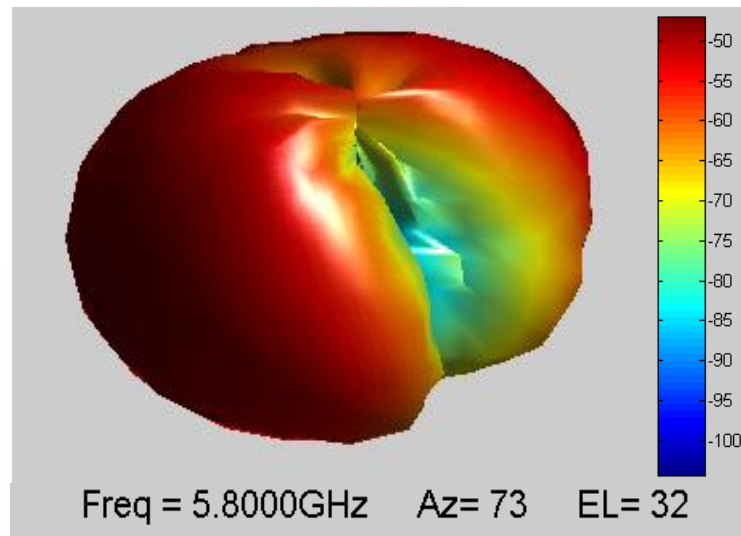


E-theta (AZ 0-360 EL -45, Gain 0.001610)



E-phi (AZ 0-360 EL 0, Gain 0.002448)

รูปที่ 4.11 แบบรูปการแผ่กระจายแบบ 2 มิติ ของสายอากาศที่ความถี่ 5.8 GHz



รูปที่ 4.12 แบบรูปการแผ่กระจายแบบ 3 มิติ ของสายอากาศที่ความถี่ 5.8 GHz



## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเสนอ การออกแบบสายอากาศช่องเปิดสามตัวในสามแถบความถี่ และทำการปรับแมตซ์อิมพีแดนซ์ด้วยวิธีการเพิ่มโลหะในช่องเปิดตัวแรก เนื่องจากในการออกแบบสายอากาศที่ทำงานในย่านความถี่ที่มากกว่าหนึ่งความถี่นั้น การปรับแมตซ์อิมพีแดนซ์เป็นสิ่งที่ค่อนข้างยุ่งยาก ซึ่งการที่จะใช้วิธีทำแมตซ์อิมพีแดนซ์แบบพื้นฐานนั้นอาจจะไม่สามารถทำให้เกิดการแมตซ์อิมพีแดนซ์ที่ดีทั้งสามความถี่ได้ ดังนั้นในวิทยานิพนธ์นี้จึงทดลองใช้วิธีการปรับให้มีการแมตซ์อิมพีแดนซ์ที่ดีด้วยการปรับแต่งที่รูปร่างสายอากาศ และจัดตำแหน่งการวางสายอากาศทั้งสามตัวให้เหมาะสม ในการวิเคราะห์สายอากาศที่ออกแบบจะใช้โปรแกรม IE3D มาช่วยในการออกแบบและจำลองผล สายอากาศที่ได้ทำการออกแบบและวิเคราะห์คุณลักษณะจะมีสามรูปแบบ คือ แบบที่หนึ่งเป็นช่องเปิดสี่เหลี่ยมผืนผ้าแคบที่แทรกโลหะไว้กลางช่องเปิด แบบที่สองเป็นเส้นช่องเปิดแคบ และแบบที่สามเป็นช่องเปิดแคบรูปมุมฉาก ช่องเปิดทั้งสามรูปแบบนี้จะถูกจัดวางในลักษณะแถวลำดับบนระนาบกราวด์ที่มีขนาดความยาวและความกว้างที่เหมาะสมต่อการเกิดคลื่นเรโซแนนซ์ที่ต้องการในแต่ละแถบความถี่ที่ออกแบบ โดยใช้ตัวป้อนสัญญาณร่วมกันแบบสายนำสัญญาณไมโคร สตรีปไลน์

สำหรับขั้นตอนในการออกแบบสายอากาศช่องเปิดสามตัวในสามแถบความถี่ ที่ได้ทำในครั้ง นี้ เริ่มจากการวิเคราะห์หาความยาวของช่องเปิดแต่ละตัวของสายอากาศ เพื่อให้ได้ความถี่เรโซแนนซ์ที่ต้องการ แล้วทำการจำลองแบบด้วยโปรแกรม IE3D ปรับพารามิเตอร์ต่าง ๆ เพื่อให้ได้ความถี่เรโซแนนซ์ที่มีค่าการสูญเสียย้อนกลับที่น้อยที่สุด จากนั้นนำรูปแบบสายอากาศที่ผ่านการจำลองมาแล้วไปทำการสร้างจริงและวัดผลเปรียบเทียบกับผลการจำลองแบบ

#### 5.1 สรุปผลการออกแบบและวิเคราะห์

ในบทที่ 4 จากรูปที่ 4.4 เปรียบเทียบการสูญเสียย้อนกลับจากการจำลองแบบกับการวัด และตารางที่ 4.1 เปรียบเทียบค่าต่าง ๆ จากการจำลองแบบกับการวัดจริง จะเห็นได้ว่าที่ย่านความถี่ต่ำความถี่เรโซแนนซ์จากการจำลองแบบเกิดขึ้นที่ความถี่ 2.43 GHz ขณะที่ผลจากการวัดได้ความถี่เรโซแนนซ์ 2.334 GHz ต่ำกว่าเล็กน้อย ส่วนย่านความถี่และแบนด์วิดท์ที่ได้จากการจำลองแบบเมื่อเปรียบเทียบกับการวัดจะแตกต่างกันเล็กน้อย ซึ่งอยู่ในแถบความถี่มาตรฐาน IEEE802.11 b/g (2.4-2.4835 GHz) ที่ย่านความถี่ที่สองความถี่เรโซแนนซ์จากการจำลองแบบเกิดขึ้นที่ 3.48 GHz และจากการวัดได้ความถี่เรโซแนนซ์ 3.444 GHz ต่ำกว่าเล็กน้อย ส่วนย่านความถี่และแบนด์วิดท์จากการจำลองแบบเปรียบเทียบกับการวัดจะแตกต่างกันไม่มากนัก อย่างไรก็ตามก็ยังคงอยู่ในแถบความถี่ WiMAX (3.4-3.6 GHz) ลำดับสุดท้ายที่ย่านความถี่สูง ความถี่เรโซแนนซ์จากการจำลองแบบเกิดขึ้น 3



ความถี่ด้วยกัน คือ ที่ 5.13 GHz, 5.49 GHz และ 5.98 GHz เปรียบเทียบกับการวัดซึ่งได้ความถี่เรโซแนนซ์ 3 ความถี่เช่นกัน คือที่ 5.0 GHz, 5.622 GHz และ 6.078 GHz ส่วนย่านความถี่และแบนด์วิดท์จากการจำลองแบบเปรียบเทียบกับการวัดจะแตกต่างกันแต่ไม่มากนัก โดยแบนด์วิดท์จากการวัดมีค่าสูงกว่าการจำลองแบบ ซึ่งผลการจำลองแบบและการวัดแบนด์วิดท์ในย่านความถี่สูงสามารถใช้งานได้ดีและครอบคลุม 3 แถบความถี่มาตรฐานด้วยกัน คือ IEEE 802.11 j (4.90-5.091 GHz) รวมถึง Public Safety frequency (4.94-4.99 GHz), IEEE 802.11 a (5.15-5.35 GHz) และ IEEE 802.11 h (5.7-5.9 GHz)

ผลการวัดคุณลักษณะของสายอากาศที่ได้สร้างบนวัสดุฐานรองชนิด RT/Duroid 5880 จะสรุปไว้ในตารางที่ 5.1 โดยเปอร์เซ็นต์ของแบนด์วิดท์จะคิดที่กึ่งกลางของแบนด์วิดท์ที่วัดได้

ตารางที่ 5.1 คุณลักษณะของสายอากาศช่องเปิดสามตัวในสามแถบความถี่ที่ได้จากการวัด

Resonance Frequency (GHz)	Return Loss $S_{11}$ (dB)	Frequency Rang (GHz)	Bandwidth (GHz)	% Bandwidth
2.334	-22.76	2.25-2.49	0.24	10.1
3.444	-37.96	3.284-3.641	0.357	10.3
5.0	-16.718	4.569-6.856	2.287	40.03
5.622	-25.297			
6.078	-30.8			

แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศในบที่ 4 หัวข้อที่ 4.4 เป็นผลการวัดในรูปแบบ 3 มิติ ที่ความถี่ตอบสนองทั้ง 5 ความถี่ คือ 2.45 GHz, 3.5 GHz, 5.2 GHz และ 5.8 GHz แสดงดังรูปที่ 4.5 ถึงรูปที่ 4.8 และผลการจำลองประสิทธิภาพของสายอากาศแสดงในตารางที่ 5.2

ตารางที่ 5.2 ผลการจำลองประสิทธิภาพ และแกนของสายอากาศช่องเปิดสามตัวในสามแถบความถี่

ผลที่ได้จากการจำลองแบบ	ความถี่ตอบสนอง (GHz)				
	2.43	3.5	5.06	5.455	5.905
Radiation Efficiency (%)	96.1115%	97.4778%	100%	96.4008%	100%
Antenna Efficiency (%)	96.1025%	97.4673%	99.9232%	96.3915%	99.996%
Gain (dBi)	5.02554	5.00264	6.10428	4.75508	5.7447
Directivity (dBi)	5.19819	5.11405	6.10762	4.9147	5.74487
Maximum at ( $\phi, \theta$ ) deg	(165, 270)	(165, 280)	(155, 280)	(150, 250)	(20, 140)

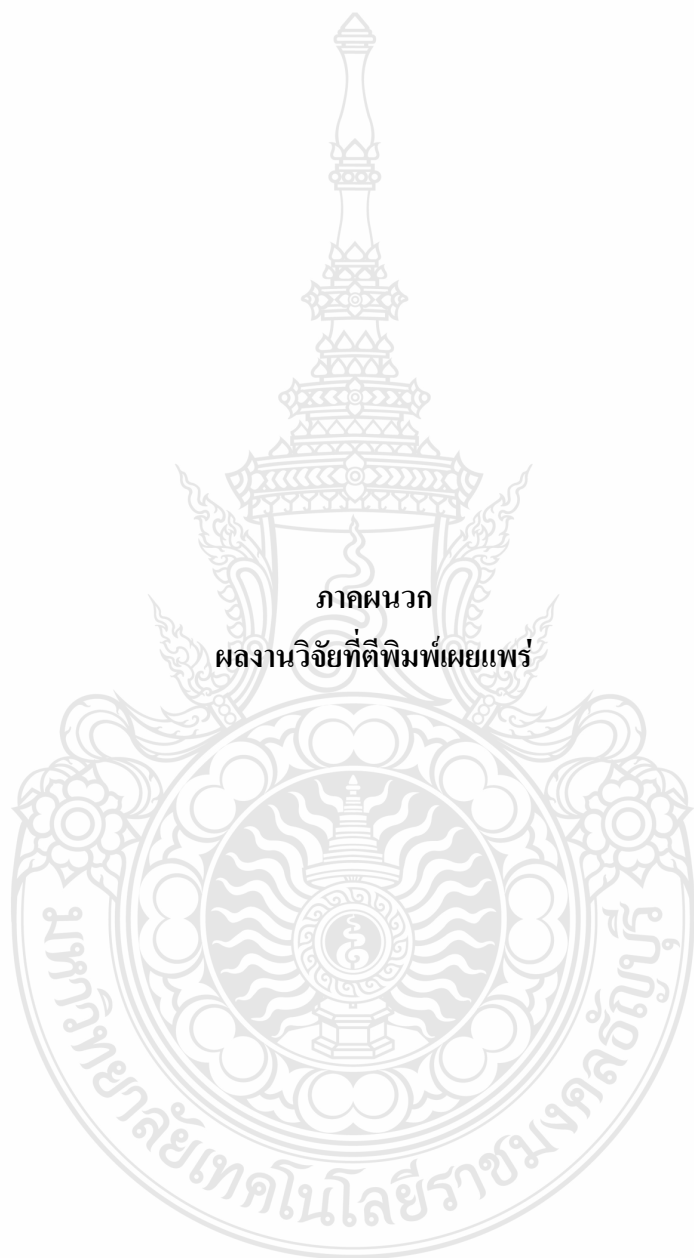
## 5.2 ข้อเสนอแนะและแนวทางในการพัฒนา

จากทศรูปที่ผ่านมาแสดงให้เห็นได้ว่า การออกแบบสายอากาศแบบช่องเปิดสามตัวสามรูปแบบในสามแถบความถี่ คือ รูปแบบที่หนึ่ง ช่องเปิดสี่เหลี่ยมผืนผ้าแคบที่มีการแทรกโลหะไว้ตรงกลางของช่องเปิด โดยวางอยู่ในระดับบนสุด รูปแบบที่สอง ช่องเปิดเส้นตรงแบบแคบโดยวางอยู่ต่ำจากช่องเปิดแรก และรูปแบบที่สาม ช่องเปิดแคบรูปมุมฉากวางอยู่ต่ำสุด ทั้งหมดนี้เป็นการออกแบบสายอากาศสามแถบความถี่ที่สามารถนำไปใช้งานได้ในพื้นที่แถบความถี่มาตรฐาน โดยมีรูปร่างง่าย ๆ ไม่ยุ่งยากซับซ้อน ให้ผลการวัดที่ดีที่สามารถนำไปใช้งานได้จริง คือ มีการแผ่กระจายคลื่นตามความถี่ที่ได้ออกแบบไว้ และมีเมตซ์อิมพีแดนซ์ที่ดี อีกทั้งยังให้แบนด์วิดท์ที่มากกว่าสายอากาศไมโครสตริปแบบช่องเปิดที่ไม่ได้แทรกเนื้อโลหะที่ภายในช่องเปิด จึงมีความเป็นไปได้ที่จะออกแบบสายอากาศหลายแถบความถี่ ที่มีการทำเมตซ์อิมพีแดนซ์ในลักษณะเช่นนี้ต่อไปในอนาคต ดังนั้นในการวิจัยครั้งต่อไปจึงควรออกแบบ โดยการแทรกเนื้อโลหะเข้าที่ช่องเปิดตัวอื่นด้วย เพื่อดูว่าการสูญเสียย้อนกลับที่ความถี่เรโซแนนซ์ และแบนด์วิดท์มีการเปลี่ยนแปลงไปเช่นไรบ้าง แต่ปัญหาของวัสดุฐานรองที่ได้ใช้ในการออกแบบสายอากาศรูปแบบนี้ก็คือ เป็นวัสดุฐานรองที่หาซื้อได้ยาก และราคาค่อนข้างแพง ดังนั้นในการวิจัยครั้งต่อไปจึงควรใช้วัสดุที่หาได้ง่ายและราคาไม่แพง เช่น วัสดุฐานรองชนิด FR4 หรือวัสดุอื่น ๆ

สุดท้ายนี้ผู้เขียนหวังว่า ข้อมูลที่ได้จากการออกแบบสายอากาศช่องเปิดสามตัวในสามแถบความถี่ ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะเป็นข้อมูลพื้นฐานที่จะนำไปช่วยในการศึกษาวิจัยและพัฒนาสายอากาศไมโครสตริปแบบช่องเปิดที่ทำงานได้หลายย่านความถี่ โดยมีการทำเมตซ์อิมพีแดนซ์ที่ดี เพื่อเป็นแนวทางในการนำไปประยุกต์ใช้กับงานที่ต้องการต่อไป

## เอกสารอ้างอิง

- [1] Balanis, C. A., **Antenna Theory Analysis and Design**, John Wiley&Sons, Inc.,2005
- [2] C. Chulvanich, J. Nakasuwan, N. Songthanapitak , N. Anantrasirichai, T. Wakabayashi, “Design Narrow Slot Antenna for Dual Frequency” (PIERS Progress In Electromagnetics Resesearch Symposium (PIERS 2007), Beijing, China, 26-30 March, 2007, pp. 1118-1122
- [3] P. Rakluea, N. Anantrasirichai, “A dual Band Right Angle Microstrip Slot Antenna” , IEEE 2006, pp. 1407-1410
- [4] Anantrasirichai, N. ,Rakluea, P. ,Wakabayachi, T. “Slot Antenna Coupled byMicrostrip Line for Dual Frequency”, ISITA/NOLTA2002,October 7-11, 2002, pp.635-638
- [5] **IE3D User’s Manual Release 9**,Zeland software, Inc., U.S.A.,2002
- [6] Ramesh Garg, Prakash Bhartia, Inder Bahl, Apisak Ittipiboon. **Microstrip Antenna Design Handbook**. Boston : Artech House. 2000.
- [7] บัณฑิต ไรจน์อารยานนท์, **วิศวกรรมไมโครเวฟ**, โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ, 2536.
- [8] Terry Edwards. **Foundations for Microstrip Circuit Design**. Second Edition UK : John Wiley & Son. 1991.
- [9] Fred Gardiol. **Microstrip Circuits**. United States of America : John Wiley & Sons. Inc. 1994.
- [10] พิชัย กักดีพานิชเจริญ. **ทฤษฎีและการใช้งานความถี่ย่านไมโครเวฟ**. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์ฟิสิกส์เซ็นเตอร์. 2536
- [11] Reinhold Ludwig & Pavel Bretchko, **RF Circuit Design, Theory and Applications**, Prentice-Hall, Inc. , 2000
- [12] I.J. Bahl and P. Bhartia. **Microstrip Antennas**. United States of America: Artech House. Inc. 1982
- [13] Yoshimura, Y., “A Microstrip Line Slot Antenna,” IEEE Trans. on Microwave Theory and Techniques, Vol. MTT-20, 1972, pp. 760-762.
- [14] Pozar D. M., “Reciprocity Method of Analysis for Printed Slot and Slot-Coupled Microstrip Antennas,” IEEE Trans. on Antennas and Propagation, Vol. Ap-34, 1986, pp. 1439-1446.



ภาคผนวก  
ผลงานวิจัยที่ตีพิมพ์เผยแพร่

# PIERS 2007

---

Progress In Electromagnetics Research Symposium

---

## Program

---

March 26 - 30, 2007

Beijing, CHINA

---

[www.emacademy.org](http://www.emacademy.org)

[www.piers.org](http://www.piers.org)

# PIERS 2007 Beijing

---

Progress In Electromagnetics Research Symposium



---

Program

March 26–30, 2007  
Beijing, CHINA

---

[www.emacademy.org](http://www.emacademy.org)  
[www.piers.org](http://www.piers.org)



For more information on PIERS, please visit us online at [www.emacademy.org](http://www.emacademy.org) or [www.piers.org](http://www.piers.org).

## CONTENTS

TECHNICAL PROGRAM SUMMARY . . . . .	4
PIERS 2007 BEIJING ORGANIZATION . . . . .	7
PIERS 2007 BEIJING SESSION ORGANIZERS . . . . .	8
PIERS 2007 BEIJING SPONSORSHIP . . . . .	8
2007 NSFC WORKSHOP ON METAMATERIALS . . . . .	9
SYMPOSIUM SITE . . . . .	9
REGISTRATION . . . . .	9
SPECIAL EVENTS . . . . .	9
PIERS ONLINE . . . . .	9
GUIDELINES FOR PRESENTERS . . . . .	10
ACCOMMODATION . . . . .	10
GENERAL INFORMATION . . . . .	11
MAP OF CONFERENCE SITE . . . . .	13
PIERS 2007 BEIJING TECHNICAL PROGRAM . . . . .	15
PIERS SURVEY . . . . .	49
PIERS 2007 PRAGUE CALL FOR PAPERS . . . . .	50
PIERS 2007 BEIJING SESSION OVERVIEW . . . . .	50



## **TECHNICAL PROGRAM SUMMARY**

### **Monday AM, March 26, 2007**

1A1	NSFC Workshop on Metamaterials 1 .....	15
1A2	Polarimetric Radar Remote Sensing .....	15
1A3	Periodical Structure, EM Theory and Applications .....	16
1A4	Safety Issues of Wireless Communication .....	16
1AP	Poster Session 1 .....	17

### **Monday PM, March 26, 2007**

1P1	NSFC Workshop on Metamaterials 2 .....	18
1P2a	Rough Surface Scattering and Related Phenomena .....	19
1P2b	Remote Sensing and Scattering .....	19
1P3a	Theory of Debye plasmas, Screened Coulomb Potentials, Radiation from Weakly Coupled Plasmas ....	20
1P3b	Optical Fiber and Wireless Communication .....	20
1P4	New Challenges and Opportunities in Computational Electromagnetics .....	20
1P5	Inverse Problem in the Mechanics, Materials and Electromagnetics .....	21

### **Tuesday AM, March 27, 2007**

2A1	Novel Theoretical Advances and Potential Applications of Metamaterials .....	21
2A2	Remote Sensing of Water Cycle Related Components .....	22
2A3	Optical Matter: Modeling and Experimental Realizations 1 .....	22
2A4	Extended/Unconventional Electromagnetic Theory, EHD/EMHD and Electrobiolgy 1 .....	23
2A5	Microwave Applications in Material Processing and Characterization .....	23
2A6a	Biomedical Applications of Light Scattering Methods .....	24
2A6b	Medical and Biological Applications of Microwaves .....	24
2A7	Electromagnetic Systems and Components for Defense and Security .....	24
2AP	Poster Session 2 .....	25

**Tuesday PM, March 27, 2007**

2P1	Metamaterials: Physics, Fabrication and Applications.....	27
2P2a	Active and Passive Remote Sensing .....	27
2P2b	Scattering and Emission Models for Microwave Remote Sensing.....	27
2P3	Optical Matter: Modeling and Experimental Realizations 2.....	28
2P4a	Extended/Unconventional Electromagnetic Theory, EHD/EMHD and Electrobiolgy 2.....	28
2P4b	Plasmas: Normal and Unconventional.....	28
2P5	Electromagnetic Modeling and Inversion and Applications .....	29
2P6	Microwave and Millimeter Wave Circuits and Devices, CAD.....	29
2P7a	Compact Multiband Antenna .....	30
2P7b	Planar Antennas and Propagation for Mobile Communications.....	30

**Wednesday AM, March 28, 2007**

3A1	Metamaterials towards the Visible.....	31
3A2	Direct and Inverse Scattering Problems for Rough Surfaces.....	31
3A3	Optics and Photonics, Gyrotrons, THz Technology .....	32
3A4	Novel Mathematical Methods in Electromagnetics.....	32
3A5	Plasmonic Nanophotonics .....	33
3A6	Wireless Communication Component .....	33
3A7	Microstrip Patch Antennas, Phased Arrays and Optical Beam Forming .....	33

**Wednesday PM, March 28, 2007**

3P1	Novel Materials and Methods in Photonic Crystals .....	34
3P2	Advanced Inverse Scattering Techniques for Non-invasive Diagnostics Applications .....	34
3P3	Adaptive, Multifrequency and Wideband Antennas for Wireless Systems.....	35
3P4	Plasmonics: Nanoscale, Ultrafast, Anisotropic, Nonlinear, and Active Phenomena .....	35
3P5	Electromagnetics in Lightning Research .....	36
3P6a	Electromagnetic Scattering: Theory and Applications .....	36
3P6b	EM Signatures for Natural and Man-made Objects.....	37

**Thursday AM, March 29, 2007**

4A1a	Biophotonics and Plasmonics .....	37
4A1b	Nanotechnology .....	37
4A2	Low Frequency EM Wave Seabed Logging to Indicate the Existence of Hydrocarbon Layers 1 .....	38
4A3	Dissipative Solitons 1 .....	38
4A4	Integral Equations and Fast Solvers .....	39
4A5	Electromagnetic and Seismic and Flow Field Imaging in the Geophysical and Environment Sciences and Engineering .....	39
4A6	High Speed I/O Signal and Power Integrity Analysis .....	40
4A7	Electromagnetic and Optical Wave Technologies for Communications and Sensing .....	40

**Thursday PM, March 29, 2007**

4P1	Electromagnetics in Photonic Crystals .....	41
4P2a	Low Frequency EM Wave Seabed Logging to Indicate the Existence of Hydrocarbon Layers 2 .....	41
4P2b	New Applications of Radar for Non-destructive Testing .....	42
4P3	Dissipative Solitons 2 .....	42
4P4	Computational Electromagnetics .....	43
4P5a	MRI Electromagnetics .....	43
4P5b	Medical Electromagnetics and Biological Effects .....	43
4P6	Advances in EM Computer-Aided Design .....	44
4P7	Antenna Theory and Radiation .....	44

**Friday AM, March 30, 2007**

5A1	Metamaterials and Photonic Crystals .....	45
5A2	Methods in Electromagnetic Scattering by Rough and Complex Surfaces .....	45
5A3	Large-scale Passive Optical Waveguide Devices, Design and Simulation .....	46
5A4a	Computational Electromagnetics and Photonics, Method and Applications .....	46
5A4b	Computational Electromagnetics: ADI-FDTD .....	47
5A5	Photonics Computer-Aided Design .....	47
5A6	Waveguides, Circuits and Systems .....	47
5A7	Antennas and Systems .....	48

**Progress in Electromagnetics Research Symposium**  
**March 26–30, 2007**  
**Beijing, CHINA**

**PIERS 2007 BEIJING ORGANIZATION**

**PIERS Chair**

J. A. Kong, MIT, USA

**PIERS 2007 Beijing General Chair**

J.-M. Kuang, Beijing Institute of Technology, CHINA

**PIERS 2007 Beijing International Advisory Committee**

L. C. Botten	W. C. Chew	N. Engheta	Z.-H. Feng
A. K. Fung	K. Gong	T. M. Habashy	Y. Hara
H.-C. Huang	A. Ishimaru	E. Jakeman	J. S. Jiang
L.-W. Li	X. W. Li	I. V. Lindell	S. G. Liu
K.-M. Luk	S. Mano	Y. Miyazaki	P. Pampaloni
A. Priou	K. Senne	Z. Sha	L. Tsang
J. Wu	K. Yasumoto	H. J. Yin	J. Zehentner
W. X. Zhang			

**PIERS 2007 Beijing Technical Program Committee**

S. J. Anderson	A. Baghai-Wadji	G. Berginc	W. M. Boerner
H. Braunisch	C.-H. Chan	K.-S. Chen	T. J. Cui
Y. Du	T. Endo	H. C. Fernandes	T. Grzegorzczuk
M. Hallikainen	S. He	W. Hong	J. Hu
Q. Jiang	K. Kobayashi	F. Li	S. Lucyszyn
A. Massa	E. L. Miller	M. Moghaddam	R. Muttukrishnan
Z. P. Nie	J. Pribetich	J. Qian	G. S. N. Raju
L. X. Ran	C. M. Rappaport	X. Q. Sheng	J. Vrba
C. Wang	B.-I. Wu	G. Xie	S. J. Xu
X. W. Xu	D. X. Yang	D. Z. Zhang	L. X. Zhang
X. M. Zhang	Y. H. Zhang	J. Zhou	

**PIERS 2007 Beijing NSFC Workshop Committee**

L. X. Ran	L. F. Shen	X. Y. Xiong	J. H. Xu
S. J. Xu	Z. T. Zhang	X. M. Zhang	

**PIERS 2007 Beijing Symposium Committee**

J. P. An	H. S. Chen	K. S. Chen	Y. Du
J. T. Huangfu	Q. Jiang	L. X. Ran	L. F. Shen
H. G. Wang	B. I. Wu	X. M. Zhang	S. A. Zhong

## PIERS 2007 Beijing Administrative Committee

J. J. Bao	H. S. Chen	X. X. Cheng	T. Jiang
D. X. Li	Z. Y. Li	Y. Luo	X. Lv
L. Peng	D. X. Wang	X. T. Wang	S. Xi
P. L. Xie	L. Y. Yu	H. F. Zhang	J. J. Zhang

## PIERS 2007 BEIJING SESSION ORGANIZERS

---

I. Akduman	N. Akhmediev	D. J. Bergman	B. N. Biswas
D. K. Callebaut	L. Capineri	D. Cardimona	C.-C. Chang
H.-W. Chang	K.-S. Chen	D. Cheng	H.-C. Chiu
C-K. Chou	L. Crocco	T. J. Cui	N. Engheta
H. C. C. Fernandes	J.-M. R. Fournier	T. M. Grzegorzczuk	Z.-H. Gu
L. Gurel	W. W. Hu	X.-H. Hu	D. Jiao
J.-M. Jin	M. Josse	M. Kagami	H. Kikuchi
K. Kobayashi	F. N. Kong	J. Li	L.-W. Li
X. Lu	J. T. Lue	A. Mehta	D. Mirshekar-Syahkal
Y. Miyazaki	M. Oristaglio	A. J. F. Orlando	C. Pan
M. Rajarajan	C. Rockstuhl	M. Rubinstein	H. Sahinturk
C. Seo	Y. Shestopalov	J. C. Shi	M. Spivack
M. I. Stockman	S. Tjuatja	S. Tomljenovic-Hanic	D. P. Tsai
G. Videen	T. Wakabayashi	C. G. Windsor	P. Winkler
C.-J. Wu	G. Xie	J. G. Xin	C. L. Xu
X.-B. Xu	X. J. Xu	J. X. Yan	J. Yang
L. Yang	A. Yapar	H. C. Yin	J. Zehentner
Q. J. Zhang	X. J. Zhang	D. L. Zu	

## PIERS 2007 BEIJING SPONSORSHIP

---

- National Natural Science Foundation of China
- Beijing Institute of Technology
- Zhejiang University
- The Electromagnetics Academy at Zhejiang University
- College of Information Science and Engineering, Zhejiang University
- College of Information Science and Technology, Beijing Institute of Technology
- BIT Center for Electromagnetic Simulation
- MIT Center for Electromagnetic Theory and Applications/Research Laboratory of Electronics
- The Electromagnetics Academy

## **2007 NSFC WORKSHOP ON METAMATERIALS**

2007 NSFC Workshop on Metamaterials, in conjunction with PIERS 2007, will be held in Beijing, 26 March, 2007. The workshop is co-sponsored by National Natural Science Foundation of China and all PIERS participants are free to attend this workshop.

Workshop participants should send the workshop registration form to PIERS OFFICE in advance.

Detailed descriptions of NSFC workshop can be found on the PIERS website at [www.piers.org](http://www.piers.org).

### **SYMPOSIUM SITE**

The 2007 Progress in Electromagnetics Research Symposium will be held on March 26–30, 2007, at the Central Garden Hotel, Beijing, China. During the Symposium, the PIERS office will be in the Central Garden Hotel. Workshop and PIERS registration starts Monday morning.

### **REGISTRATION**

The PIERS technical sessions and NSFC Workshop will begin on Monday morning, March 26, 2007 at the Central Garden Hotel in Beijing, China. You may register in the PIERS Office on Monday, March 26, from 8:00 to 18:00, or during the Symposium from 8:00 through 17:00, March 27–30.

The on-site registration fee is US\$500. The student registration fee is US\$300; a valid student ID is required. If you have pre-registered, your name badge and symposium program will be ready for you to pick up at the registration desk during the symposium. Please wear your name badge throughout the meeting. Access will be prohibited to the break, interactive areas, and technical sessions if a name badge is not visible.

### **SPECIAL EVENTS**

#### **Opening Reception**

On Monday, March 26, 2006, from 11:30 to 13:30, symposium reception with buffet lunch will take place at the Central Garden Hotel. For registered PIERS participant, the reception fee is free. For unregistered companions, the price is RMB100 (CNY100) per person. Please make online reservation in advance at PIERS website.

#### **Symposium Banquet**

On Wednesday evening, March 28, 2007, a symposium banquet is planned for PIERS participants and their guests. A limited number of banquet tickets will be available. For all participants, the price is RMB300 (CNY300) per person. Please online make reservation in advance and pay cash at PIERS check-in desk.

### **PIERS ONLINE**

Information on PIERS 2007 Beijing and future PIERS is posted at [www.piers.org](http://www.piers.org).

## GUIDELINES FOR PRESENTERS

### Oral Presentations

Each session room is equipped with a stationary computer connected to a LCD projector (beamer). Presenters choosing to use electronic presentation must load their presentation files in advance onto the central PIERS computer in the PIERS office. The PIERS computer is equipped with a USB port and a CD-ROM drive. Please load your presentation files to the PIERS computer at PIERS OFFICE at least half-day before your session.

A technician personnel will be available to assist you and test your presentation at the PIERS office. Presenters can only use the session computer for their presentation and are not allowed to detach the session computer and attach their own notebook/laptop to the LCD projector. Presenters choosing to use overhead projector with transparencies, please inform PIERS OFFICE to prepare in advance.

Scheduled time slots for presentation are 20 minute each, including questions and discussions. Presenters are required to report to their session room and to their session Chair at least 10 minutes prior to the start of their session. The session chair must be presented in the session room at least 15 minutes before the start of the session and must strictly observe the starting time and time limit of each paper and refrain from changing paper presentation sequence.

### Poster Presentations

One panel (about 100 x 200 cm) will be available for each poster. Pins or thumbtacks are provided to mount your posters on the board.

The poster session 1 will be 9:00 to 17:00 on Monday, March 26, 2006 and the poster session 2 will be 9:00 to 17:00 on Tuesday, March 27, 2006. All presenters are required to mount their papers at the beginning of the session and remove them at the end of their sessions.

Presenters should post time slots of their presence on the panel and be present for interactive questions within the posted time slots.

## ACCOMMODATION

Participants are responsible for making their own housing arrangements. The information below is provided for your convenience. Hotel Reservation Form is available online. Please visit PIERS 2007 website for detailed information.

### Central Garden Hotel Accommodations

*Central Garden Hotel*

18 Xie Street Gaoliangqiao,  
Xizhimenwai Ave, Haidian District, Beijing

Phone: 86-10-51568888

Fax: 86-10-51566789

Email: garden@centralgardenhotel.com

## GENERAL INFORMATION

### LANGUAGE

The official language for the Symposium is English. However, in the public society, Chinese mandarin is commonly spoken in Beijing.

### CURRENCY AND CREDIT CARDS

Chinese currency is RMB with its monetary unit RMB *Yuan*. The exchange rate is 1 USD for about 7.8 RMB. The credit cards and cash in US dollars are acceptable on the hotel registration desk in Central Garden Hotel. This is also the case in most large shopping centers and other hotels.

### TAX AND TIP

Tipping is by no means a traditional Chinese custom. Please help keep the good custom and do not tip a waiter/waitress or a taxi driver and other persons who provides regular service. Take back any change that is rightfully yours. All the shopping is free of tax. Bargaining is necessary on buying merchandise especially from Street Markets.

### TAXI

Usually, a taxi is available along the roadsides, while you wave for it. However, on main streets it is only available at taxi stops or in front of a hotel.

### BUSINESS OPENING HOURS

- **Bank and Post Office**  
Opening hours: 9:00 – 17:00, from Monday to Sunday.
- **Government Office**  
Opening hours: 8:00 – 17:00, from Monday to Friday.
- **Store**  
Opening hours: usually 10:00 to 21:00, but the large shopping center serves till 22:00, from Monday to Sunday.

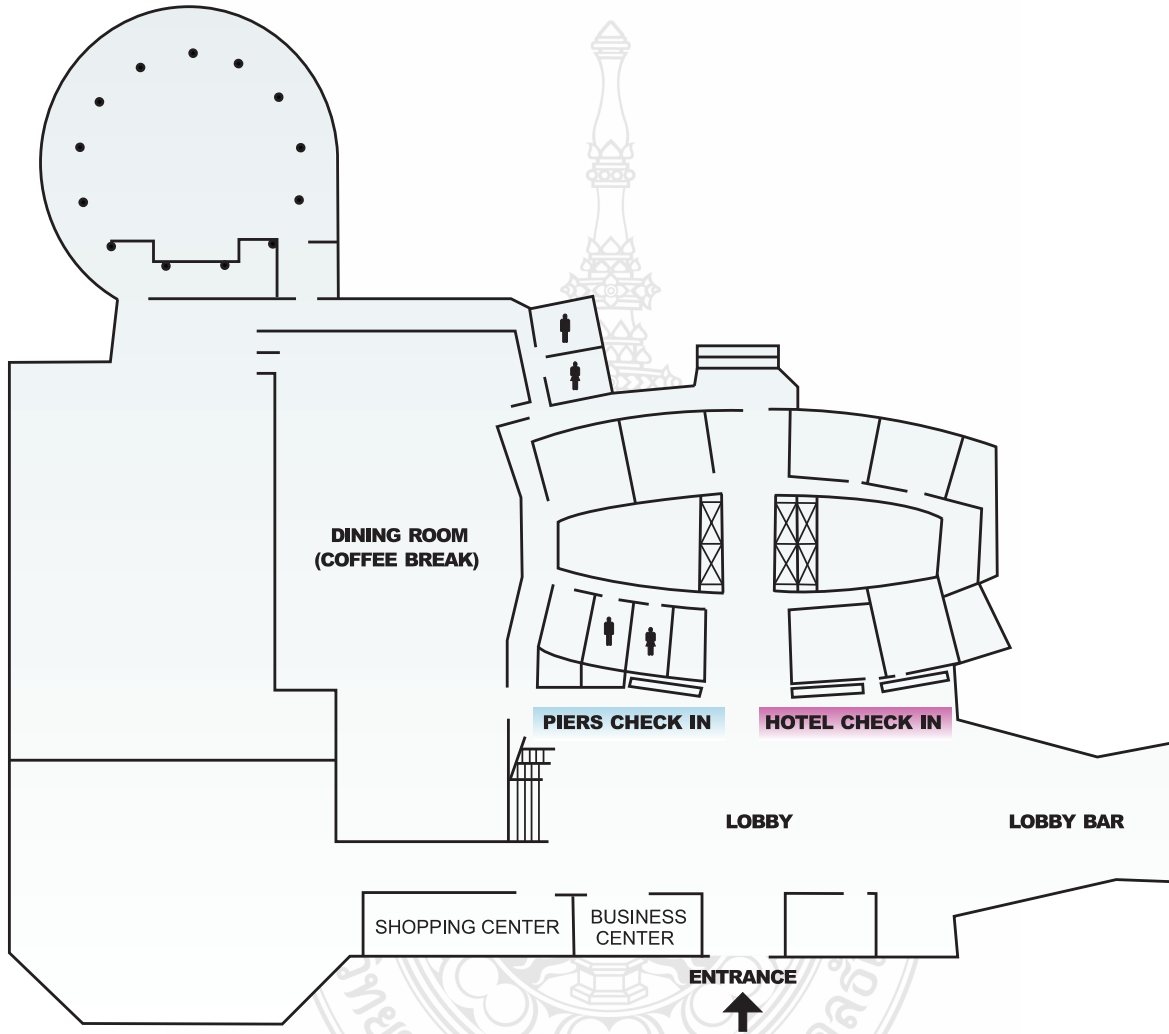
### ELECTRICITY

In China, the standard outlets provide AC of 220 V/50 Hz.

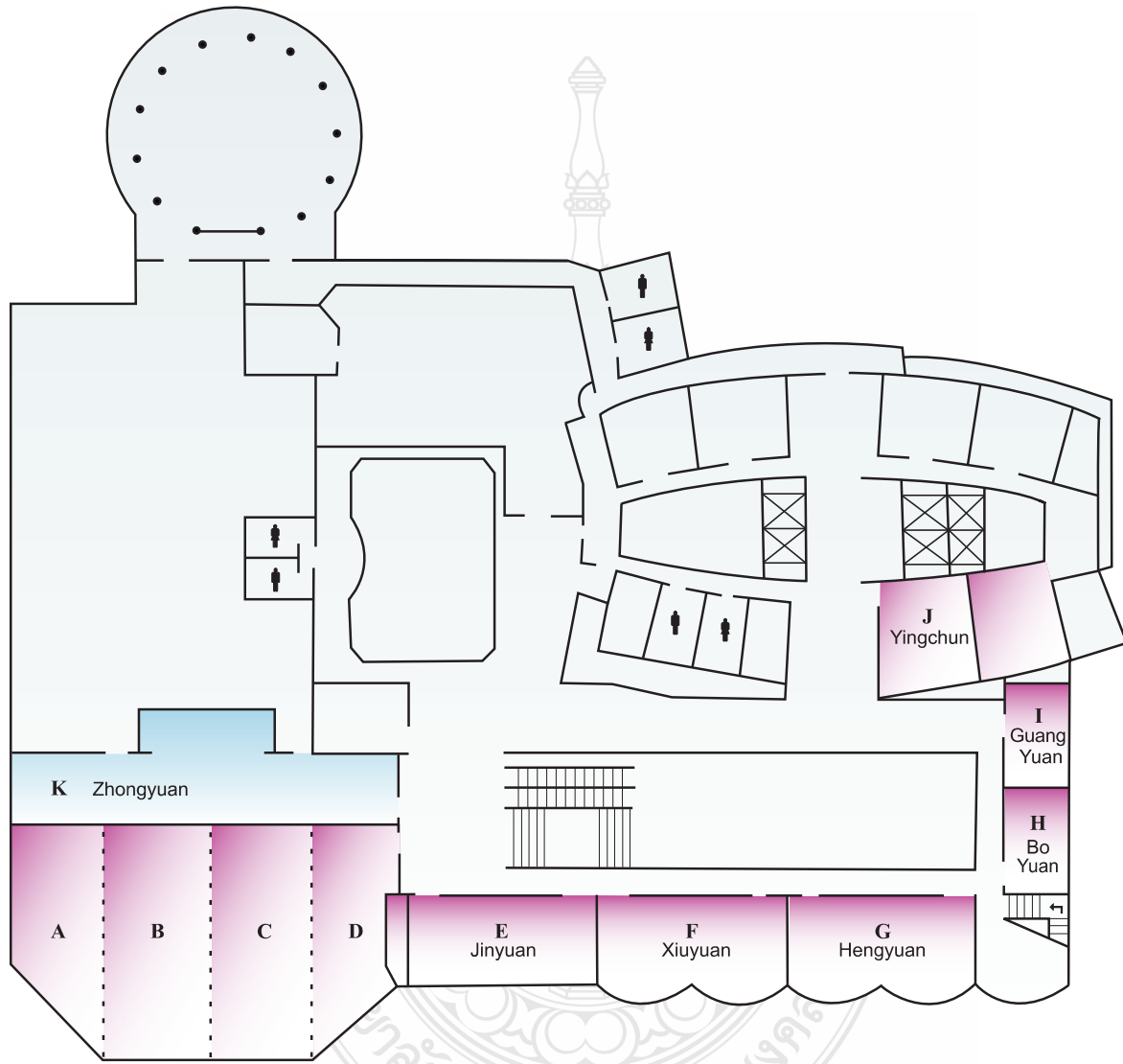




## MAP OF CONFERENCE SITE



Hotel Lobby & Check-In Desk



**Hotel Meeting Floor 2**

## PIERS 2007 BEIJING TECHNICAL PROGRAM

<b>Session 1A1</b> <b>NSFC Workshop on Metamaterials 1</b> <hr/> <b>Monday AM, March 26, 2007</b> <b>Room C (Zhongyuan)</b> Chaired by Shanjia Xu, Daozhong Zhang	11:20 Relativistic Energy Loss and Induced Photon Emission in the Interaction of a Left-handed Sphere with an External Electron Beam <i>Xiangdong Zhang, Jinying Xu,</i>
08:00 Design of a Compact 5-bit Time Delay Module with Left-handed Transmission Lines <i>Qi Zhu, Lijun Chen, Wenhui Mao, Shanjia Xu,</i>	<b>Session 1A2</b> <b>Polarimetric Radar Remote Sensing</b> <hr/> <b>Monday AM, March 26, 2007</b> <b>Room B (Zhongyuan)</b> Organized by Jian Yang Chaired by Jian Yang
08:20 Design of Left-handed Time Delay Lines <i>Lijun Chen, Qi Zhu, Shanjia Xu,</i>	08:20 Principal Component Analysis (PCA) in the Context of Radar Polarimetry <i>W.-M. Boerner, E. Lüneburg, A. Danklmayer,</i>
08:40 Equivalency of Left-handed Materials and Left-handed Transmission Lines <i>Qi Zhu, Lu Han, Shanjia Xu,</i>	08:40 On the Geršgorin Theorem Applied to Radar Polarimetry <i>E. Lüneburg, A. Danklmayer, W.-M. Boerner,</i>
09:00 Design of Left-handed Microstrip Antenna <i>Qi Zhu, Wei Lu, Shanjia Xu,</i>	09:00 Multitemporal C-Band Radar Measurement on Rice Fields <i>Ka-Sing Lim, Chue-Poh Tan, Jun-Yi Koay, Voon-Chet Koo, Hong-Tat Ewe, Yew-Chiong Lo, Azmah Ali,</i>
09:20 New Microstrip Filters With Composite Right/Left-handed Transmission Line <i>Qi Zhu, Yuanfeng She, Shanjia Xu,</i>	09:20 An Unsupervised Classification Using IHSL Transform, FCM Algorithm and XB Index for Fully Polarimetric SAR Data <i>Fang Cao, Wen Hong, Yirong Wu,</i>
09:40 Analyzing of Coupling Region for CRLH/RH TL Coupler with Lumped-elements <i>Y. Wang, Y. Zhang, F. Liu,</i>	09:40 A Hybrid Entropy Decomposition and Support Vector Machine Method for Agricultural Crop Type Classification <i>Chue-Poh Tan, Hong-Tat Ewe, Hean-Teik Chuah,</i>
10:00 <b>Coffee Break</b>	10:00 <b>Coffee Break</b>
10:20 Experimental Demonstration of Non-near-field Image Formed by Negative Refraction <i>Zhifang Feng, Xiangdong Zhang, Kun Ren, Shuai Feng, Zhi-Yuan Li, Bingying Cheng, Daozhong Zhang,</i>	10:20 Iteration Based Polarimetric SAR Image Classification <i>Jian Yang, Xiaoli She, Tao Xiong,</i>
10:40 Imaging Properties of a Superlens Based on Metal-dielectric Composites of Nonspherical Particles <i>Lei Gao,</i>	10:40 Coherence Enhancement for Polarimetric SAR Interferometry <i>Tao Xiong, Jian Yang, Weijie Zhang, Yoshio Yamaguchi, Hiroyoshi Yamada,</i>
11:00 Anisotropic Perfect Lens Configuration: Sub-diffraction Imaging through Compensated Bilayer of Anisotropic Metamaterials <i>Yijun Feng,</i>	

- |   |  |
|---|--|
| <p>11:00 Initial Polarimetric Calibration Results of ALOS PALSAR<br/><i>T. Moriyama, M. Shimada, M. Watanabe,</i></p> <p>11:20 Classification of Targets on Road by Fully Polarimetric and Real-time FM-CW Radar<br/><i>J. Nakamura, M. Ikarashi, K. Aoyama, M. Mitamura, Y. Yamaguchi, H. Yamada, N. Yamada, Y. Uehara,</i></p> <p>11:40 Polarimetric Observation of the Trees in the X and Ku-band by FM-CW SAR System<br/><i>K. Aoyama, M. Ikarashi, J. Nakamura, Y. Yamaguchi, H. Yamada,</i></p> | <p>11:00 Several Rules about the Magnetic Moment of Rotational Charged Bodies<br/><i>Guo-Quan Zhou,</i></p> <p>11:20 Key Technologies of Magnetic Confinement Superconducting Tokamak Device<br/><i>Songtao Wu, Weiyue Wu, Yingnan Pan, Damao Yao, Wenge Chen, Wanjiang Pan, Siyue Chen, Peide Weng, Mingda Gao, Yuanxi Wan,</i></p> |
|---|--|

---

**Session 1A4**
**Safety Issues of Wireless Communication**


---

**Monday AM, March 26, 2007**
**Room D (Zhongyuan)**

Organized by Chung-Kwang Chou

Chaired by Chung-Kwang Chou

---

**Session 1A3**
**Periodical Structure, EM Theory and Applications**


---

**Monday AM, March 26, 2007**
**Room A (Zhongyuan)**

Chaired by Kiyotoshi Yasumoto, Hean-Teik Chuah

- |   |  |
|---|--|
| <p>08:00 Analysis of Circular Waveguide Periodically Filled with Magnetized Ferrite<br/><i>K. Yasumoto, T. Terasaka,</i></p> <p>08:20 Frozen Modes in Periodic Dielectric Structures<br/><i>A. Figotin, I. Vitebskiy,</i></p> <p>08:40 Application of the Array Scanning Method to 1D-periodic Microstrip Lines<br/><i>R. Rodríguez-Berral, F. Mesa, P. Baccarelli, P. Burghignoli,</i></p> <p>09:00 Closed-form Expressions for Layered Media Green's Functions that are Reliable Both in the Near Field and in the Far Field<br/><i>R. R. Boix, F. L. Mesa, F. Medina,</i></p> <p>09:20 Coupling of Microstrip Lines Exciting the Magneto-static Surface Waves<br/><i>Jae-Hyun Lee,</i></p> <p>09:40 Analyses of Multimode Forming Process in a Microwave-heating Cavity<br/><i>Jirun Luo,</i></p> <p>10:00 <b>Coffee Break</b></p> <p>10:20 Electromagnetic Momentum in Dielectrics — Abraham-Minkowski and All That<br/><i>R. N. C. Pfeifer, T. A. Nieminen,</i></p> <p>10:40 Continuous Time Model Predictive Control for a Magnetic Bearing System<br/><i>Jianming Huang, Liuping Wang, Yang Huang,</i></p> | <p>08:40 Studying the Accuracy of FDTD Analysis for Human Exposure Evaluations in the Vicinity of a Base Station Antenna<br/><i>S. Ilvonen, K. Karkkainen, T. Uusitupa, I. Laakso, K. Nikoskinen,</i></p> <p>09:00 Electromagnetic Field Estimations Considering of Implantable Cardiac Pacemaker EMI from Cellular Radios in Elevators<br/><i>Y. Abiko, L. Harris, T. Hikage, T. Nojima, A. Simba, S. Watanabe, T. Shinozuka,</i></p> <p>09:20 A Study on Mobile Phone Attaching Positions and Usage Patterns by Korean Youngsters<br/><i>Y. M. Gimm, S. B. Lee, H. T. Oh, Y. P. Kim,</i></p> <p>09:40 The Effects of 884 MHz GSM Wireless Communication Signals on Self-reported Symptoms and Sleep — An Experimental Provocation Study<br/><i>Bengt Arnetz, Torbjörn Åkerstedt, Lena Hillert, Arne Lowden, Niels Kuster, Clairry Wiholm,</i></p> <p>10:00 <b>Coffee Break</b></p> <p>10:20 Behavioral and Cognitive Effects of MW Electromagnetic Field Exposures<br/><i>Sheila A. Johnston,</i></p> <p>10:40 Radiofrequency Exposure and Human Health<br/><i>J. A. Elder, C-K. Chou, J. J. Morrissey,</i></p> <p>11:00 International Standards to Regulate RF Exposure<br/><i>C-K. Chou, R. C. Petersen,</i></p> |
|---|--|

<b>Session 1AP</b>			
<b>Poster Session 1</b>			
<b>Monday AM, March 26, 2007</b>			
<b>9:00 AM - 17:00 PM</b>			
<b>Room K (Zhongyuan)</b>			
1	Unusual Transimission Properties of Waves in One-dimensional Random System Containing Left-handed Material <i>Yunxia Dong, Xiangdong Zhang,</i>	13	Design of High Power Phase Shifter with Left-handed Transmission Line <i>Qi Zhu, Shaoyong Wang, Jun Zhang, Shanjia Xu,</i>
2	Twin Tunneling Modes in Sandwich Structures with Symmetry Single-negative Media <i>J. W. Dong, H. C. Huang, H. Z. Wang,</i>	14	The Loss and Chromatic Dispersion Characteristics of the Microstructured Optical Fibres with Large Mode Area <i>Yuanyuan Zhao, Shuguang Li, Zhiyuan Zhang, Tianfu Xu,</i>
3	Design Negative Index Materials with Ferrites <i>Rui-Xin Wu,</i>	15	Numerical Simulation and Analysis on Mode Property of Photonic Crystal Fiber with High Birefringence by Fast Multipole Method <i>Wei Song, Yuanyuan Zhao, Yu Bao, Shuguang Li, Zhiyuan Zhang, Tianfu Xu,</i>
4	Design of Dual-linearly-polarized Microstrip Array with CRLT as Feed Line <i>Qi Zhu, Lei Wu, Shanjia Xu,</i>	16	A Comparison of Performance of Four Methods in Solving Time Domain Integral Equations for Arbitrarily Shaped Conducting Bodies <i>Xinpu Guan, Shaogang Wang, Yi Su, Junjie Mao,</i>
5	Improved Structures of Left-handed Transmission Line <i>Qi Zhu, Fan Yu, Shanjia Xu,</i>	17	A Method to Reduce the Oscillations of the Solution of Time Domain Integral Equation Using Laguerre Polynomials <i>Xinpu Guan, Shaogang Wang, Yi Su, Junjie Mao,</i>
6	A New Frequency Selective Surface Composed of Left-handed Materials <i>Weihai Fang, Shanjia Xu,</i>	18	An Integer-N Frequency Synthesizer Applied to MB-OFDM UWB 5th Band Group <i>Cheng-Chan Tien, Tsung-Mo Tien, Christina F. Jou,</i>
7	Analysis of Scattering and Radiation Characteristics for Stepped Left-handed Slab Waveguide Operating in Evanescent Surface Mode <i>Meng Huang, Shanjia Xu,</i>	19	Effective Conductivities for Both Sides of Copper Foil Coating Surface of Dielectric Substrate at 60 GHz <i>F. Kuroki, R. Masumoto, R. Tamaru,</i>
8	A Novel Microstrip Antenna Array Fed with Composite Right-left Handed Transmission Line <i>Yan Li, Shanjia Xu, Zhongxiang Zhang,</i>	20	Transition between NRD Guide and Microstrip Line with Low Permittivity Dielectric Substrate at 60 GHz <i>F. Kuroki, H. Sugimoto, T. Yoneyama,</i>
9	A Novel Super Wideband Compact Filter Based on Dual-layer Left-handed Materials for Millimeter-wave Applications <i>Tao Lu, Shanjia Xu,</i>	21	A Primary Radiator Using Vertical Strip Transmission Line for Millimeter-wave Planar Antenna Applications <i>F. Kuroki, M. Okiyokota,</i>
10	Leaky Characteristics of a Channel Guide Antenna Filled with Left-handed Material <i>Yongmei Pan, Shanjia Xu,</i>	22	A Comparator Applied in Current Detect of Synchronous Rectifications <i>Maomao Sun, Quanyuan Feng, Hongbo Ma,</i>
11	A Novel 2-D Uniplanar Structure Design with Composite Right-left Handed Transmission Line <i>Qingfeng Zhang, Shanjia Xu,</i>	23	Single-end Measurement of Polarization Mode Dispersion in Optical Fibers with Polarization-dependent Loss <i>H. Dong, P. Shum,</i>
12	A Novel Feeding Network of 2-dimension Microstrip Patch Arrays with Composite Right/left-handed Transmission Lines <i>Zhongxiang Zhang, Shanjia Xu,</i>	24	Advances in Signal Processing to Reduce Lift-off Noise in Eddy Current Tests <i>M. Cacciola, A. Gasparics, F. C. Morabito, M. Versaci, V. Barrile,</i>
		25	A Compact Printed Antenna with Band-stop Characteristic for UWB Application <i>Seokjin Hong, Heejun Lee, Soonyong Lee, Jaehoon Choi,</i>

- |    |  |       |  |
|----|--|-------|--|
| 26 | A Low-power Quadrature VCO Using Current-reused Technique and Back-gate Coupling<br><i>Yu-Ching Tsai, Yi-Shing Shen, Christina. F. Jou,</i>                                      | 40    | Shielding Design for Power Frequency Magnetic Field Produced by Substations<br><i>Haiyu Yu, Li Hao, Jiansheng Yuan,</i>  |
| 27 | A Fully-integrated, Low Power, Fast-locking, Integer-N Frequency Synthesizer for MB-OFDM UWB System<br><i>Shih-Hao Tarng, Yu-Ching Tsai, Christina. F. Jou,</i>                  | 41    | Analytical Design and Simulation Rescaling of Magnetically Insulated Transmission Lines<br><i>Xiangmin Jin, Jiansheng Yuan,</i>  |
| 28 | A 0.7 V Transformer-feedback CMOS Low-noise Amplifier for 5-GHz Wireless LAN<br><i>H. I. Wu, R. S. Fan, C. F. Jou,</i>   | 42    | Analysis on the Shielding Effect of the Power Transformer Tank<br><i>Duo Chen, Haiyu Yu, Jiansheng Yuan,</i>   |
| 29 | A 0.75 V CMOS Low-noise Amplifier for Ultra Wide-band Wireless Receiver<br><i>Hui-I. Wu, Zi Hao Hsiung, Christina F. Jou,</i>  | 43    | A Miniaturized 2.45 GHz RFID Tag Antenna Using Planar Impedance Transformer<br><i>Zhiguang Fan, Shan Qiao, Jiangtao Huangfu, Lixin Ran,</i>  |
| 30 | Adaptive Selection of Sampling Interval in Frequency Domain for Estimating the Poles of Scatterers<br><i>Shaogang Wang, Xinpu Guan, Dangwei Wang, Xingyi Ma, Yi Su,</i>          | 44    | Simulation Study for the Decoding of UHF RFID Signals<br><i>Shengli Wang, Shan Qiao, Shaoyuan Zheng, Zhiguang Fan, Jiangtao Huangfu, Lixin Ran,</i>  |
| 31 | Bandwidth Enhancement Technique in Microstrip Antenna for Wireless Applications<br><i>RSA Raja Abdullah, D. Yoharaaj, Alyani Ismail,</i>   | 45    | A System Design for the Reader of Microwave Radio Frequency Identification<br><i>Changzhan Gu, Zhiguang Fan, Shaoyuan Zheng, Jiangtao Huangfu, Lixin Ran,</i>  |
| 32 | Geometry of the Scattering Disc in Physical Channel Modeling<br><i>Mohammed T. Simsim, Noor M. Khan, Rodica Ramer,</i>   | 46    | Effects of Giant Optical Anisotropy in R-plane GaN/AlGaIn Quantum Wells by Valence Band Mixing<br><i>Chun-Nan Chen, Kao-Feng Yarn, Win-Jet Luo, Jih-Chen Chiang, Ikai Lo, Wan-Tsang Wang, Ming-Hong Gau, Hsiu-Fen Kao, Meng-En Lee, Wei-Ching Chuang, Wen-Chung Chang, Tsung-Chan Cheng,</i> |
| 33 | Design and Analysis of the Novel Test Tube Magnet for Portable NMR Device<br><i>Jizhong Chen, Yiming Zhang, Jijun Xiao,</i>  | 47    | Monitoring the Earth, Ocean, and Atmosphere with Hyperspectral Remote Sensors<br><i>Daniel K. Zhou,</i>  |
| 34 | Optimization Method for Passive Pole Pieces Design<br><i>Le Wang, Haitao Zhu, Xiaoyu Song, Zhe Jin, Xin Tang, Weiming Wang,</i>  | 48    | Determination of the Border for Resistive Oil and Gas Reservoir by Parameter of Deviation Rate<br><i>Jingtian Tang, Jifeng Zhang, Bing Feng, Ye Wang,</i>  |
| 35 | Verification of BGA Package in RF Application<br><i>Zhihong Dong, Zhiping Yu,</i>  |       |  |
| 36 | Measurement of Radio Frequency Magnetic Field<br><i>K. Bartusek, E. Gescheidtova,</i>  |       |  |
| 37 | Temporal Analysis of Visual Search Task by Transcranial Magnetic Stimulation<br><i>Sheng Ge, Shoogo Ueno, Keiji Iramina,</i>   |       |  |
| 38 | Excitation of Hypersound Due to Coupling with Space Charge Waves in GaN Films<br><i>V. V. Grimalsky, S. V. Koshevaya, L. M. Gaggero-S., F. Diaz-A.,</i>                          | 13:20 | Active Controllable Single Side Double S-shaped Metamaterial<br><i>Dongxing Wang, Lixin Ran, Hongsheng Chen, Bae-Ian Wu, Tomasz M. Grzegorzczk, Jin Au Kong,</i>   |
| 39 | Electron Spectrum of Single n-type $\delta$ -doped Quantum Wells in Si<br><i>I. Rodriguez-Vargas, L. M. Gaggero-Sager, V. V. Grimalsky, M. E. Mora-Ramos, R. Pérez-Alvarez1,</i> | 13:40 | Isolation Study in Antenna Systems Using Left-handed Metamaterials<br><i>James Chen, Hongsheng Chen, Bae-Ian Wu, Jin Au Kong, Tomasz M. Grzegorzczk,</i>   |

---

**Session 1P1**
**NSFC Workshop on Metamaterials 2**


---

**Monday PM, March 26, 2007**
**Room C (Zhongyuan)**

 Chaired by Ji Zhou, Lixin Ran
 

---

- 14:00 Two-dimensional Cross Embedded Metamaterials  
*J. Zhang, H. Chen, L. Ran, Y. Luo, J. A. Kong,*
- 14:20 Negative Refractive Metamaterial Composite of Pure Dielectric Resonators  
*Liang Peng, Lixin Ran, Hongsheng Chen, Haifei Zhang, Tomasz M. Grzegorzczuk, Jin Au Kong,*
- 14:40 Experimental Study of the Transmission Property of Anisotropic Left-handed Materials  
*Hai Fei Zhang, Yu Zhong, Li Xin Ran, Jin Au Kong,*
- 15:00 **Coffee Break**
- 15:20 Realization of Left-handed Materials Using Ferroic Materials  
*Yang Bai, Ji Zhou, Bo Li, Lijie Qiao,*
- 15:40 Tunable Metamaterials Based on Nematic Liquid Crystals  
*Qian Zhao, Lei Kang, Bo Du, Bo Li, Ji Zhou,*
- 16:00 Rigorous Study of the Magnetic Resonances in Metallic Double Split Rings: Lower Frequency Limit and Bi-anisotropy  
*Lei Zhou, S. T. Chui, C. T. Chan,*
- 16:20 Negative Refraction in Composites with Array of Coplanar Metallic Double Rings  
*Xingye Ji, Ping Chen, Rui-Xin Wu,*
- 16:40 Frequency Selectivity of THz Transmission of Sub-wavelength Metal Fractal Structures  
*Guozhong Zhao, Yan Tian, Cunlin Zhang, Guozhen Yang,*
- 
- Session 1P2a**  
**Rough Surface Scattering and Related Phenomena**  
**Monday PM, March 26, 2007**  
**Room B (Zhongyuan)**  
Organized by Zu-Han Gu, Michel Josse  
Chaired by Zu-Han Gu, Michel Josse
- 
- 13:00 Inverse Scattering for a 1-D Surface Reconstruction  
*Zu-Han Gu, Anting Wang,*
- 13:20 Control of Coherence of Laser Beam for Optical Communication in Turbulent Atmosphere  
*Zu-Han Gu,*
- 13:40 Transfer Process of Power between Cores in a Random Waveguide System  
*Akira Komiyama,*
- 14:00 Control of the Coherence of the Light Scattered from a Two-dimensional Randomly Rough Surface  
*Tamara A. Leskova, Alexei A. Maradudin, Eugenio R. Méndez, Zu-Han Gu,*
- 14:20 The Use of Broad Band Illumination in Place of Ensemble Averaging for Averaging over Speckles in Rough Surface Scattering  
*A. A. Maradudin, Tamara A. Leskova, Eugenio R. Méndez, Zu-Han Gu,*
- 14:40 Spectral Changes of Stochastic Electromagnetic Beams on Propagation in Turbulent Atmosphere  
*Jixiong Pu, Olga Korotkova, Emil Wolf, Lifeng Shi, Ziyang Chen, Tao Wang,*
- 15:00 **Coffee Break**
- 
- Session 1P2b**  
**Remote Sensing and Scattering**  
**Monday PM, March 26, 2007**  
**Room B (Zhongyuan)**  
Chaired by Paolo Pampaloni, Martti Hallikainen
- 
- 15:20 Bistatic Electromagnetic Scattering from Randomly Rough Surfaces  
*Y. Du, H. Y. Chen, Y. Qi, J. A. Kong,*
- 15:40 Monitoring of Satellite Thermal Plareau in Relation to Concentration of Infrared Beams out of Sea Surface Waves  
*S. Nakamura,*
- 16:00 Monitoring Satellite Thermal Pinnacle in Relation to Spacial Spectrum of Sea Surface Waves  
*S. Nakamura,*
- 16:20 Data-derived SEA for Time Domain EMI Sensing of UXO  
*K. Sun, K O'Neill, B. E. Barrowes, F. Shubitidze, I. Shamatava, J. P. Fernández, K. D. Paulsen,*
- 16:40 Automated Passive Ground Remote Surveillance of Critical Oil & Gas Transport Infrastructures  
*Karl F. Kasperek, E. Poggiagliolmi,*
- 17:00 The Iterative Classification Method Based on Unsupervised Classification of Fully Polarimetric SAR Images  
*Xiu-Qing Liu, Ru-Liang Yang,*



**Session 1P3a****Theory of Debye plasmas, Screened Coulomb Potentials, Radiation from Weakly Coupled Plasmas**

Monday PM, March 26, 2007

Room A (Zhongyuan)

Organized by Peter Winkler

Chaired by Peter Winkler, Werner Dappen

- 13:20 Bound States and Resonance States of  $H^-$  and He Embedded in Debye Plasma Environments  
*Sabyasachi Kar, Y. K. Ho,*
- 13:40 The Use of the Virial Theorem and Sum-rules in Atomic Structure Calculations  
*Krishna Lamichhane, Peter Winkler,*
- 14:00 Line-broadening due to Plasma Fluctuations  
*Peter Winkler,*
- 14:20 X-ray Line Emission from Weakly Coupled Plasmas  
*R. C. Mancini,*
- 14:40 Coulomb Screening in Solar Physics  
*Werner Dappen,*
- 15:00 **Coffee Break**

**Session 1P3b****Optical Fiber and Wireless Communication**

Monday PM, March 26, 2007

Room A (Zhongyuan)

Organized by Weiwei Hu

Chaired by Zhigang Zhang, Weiwei Hu

- 15:20 Stochastic Perturbation of Parabolic Law Optical Solitons  
*Anjan Biswas,*
- 15:40 Dynamic Response of Discrete Fiber Raman Amplifiers to Multi-channel Randomly Variable Packet Traffic  
*Johann Gest, Lawrence R. Chen,*
- 16:00 An Implementation of Novel Numerical Method for Generating Differential Group Delay Distribution in Single Mode Fibers  
*Abhijit S. Chitambar, K. Sivaprasad, Charles H. Bianchi,*
- 16:20 The Branly Effect Elucidated  
*C. Hirlimann,*

- 16:40 A Faster Approximation of Forward Scattering by Gradient-index Particles  
*Xiangzhen Li, Xiang'e Han, Renxian Li, Huiwen Jiang,*
- 17:00 An optimized Scheme for Optical Phased Array Beam Steering Controlled by Wavelength  
*Ying Zhao, Xiaozhou Yang, Qin Cai, Weiwei Hu,*
- 17:20 A Structure Design for the Expansion of Fiber Element Radiation Scope in Optical Phased Array  
*Yanyun Yang, Cheng Hong, Weiwei Hu, Anshi Xu,*

**Session 1P4****New Challenges and Opportunities in Computational Electromagnetics**

Monday PM, March 26, 2007

Room D (Zhongyuan)

Organized by Jianming Jin, Dan Jiao

Chaired by Jianming Jin, Dan Jiao

- 13:20 A Diagonal Split-cell Model for the High-order Symplectic FDTD Scheme  
*Wei Sha, Xianliang Wu, Mingsheng Chen,*
- 13:40 Multi-physics Simulations of Ion Trap Chemical Sensing  
*Wei Xu, Meng Yu, Zheng Ouyang, R. Graham Cooks, William Chappell,*
- 14:00 Parallel Computational Electromagnetic Method, PCEM, for IC Interconnect and Packaging Analysis  
*L. J. Jiang, J. D. Morsey, B. J. Rubin, A. Deutsch,*
- 14:20 Application of Numerical Electromagnetics to Power Delivery Design in ULSI  
*Sourav Chakravarty,*
- 14:40 A Highly Efficient Finite Element Domain Decomposition Method for Analysis of Large-scale Photonic Crystal Problems  
*Y. J. Li, J.-M. Jin,*
- 15:00 **Coffee Break**
- 15:20 On High-capacity Computational Electromagnetic Solutions for Future High-speed IC Design  
*Dan Jiao, Changhong Dai, Shih-Wuu Lee,*
- 15:40 Applying Equivalence Principle Algorithm in Mixed Scale Electromagnetic Problems  
*Weng Cho Chew, Mao-Kun Li,*
- 16:00 2nd Order ABC in Vector Finite Element Methods for Inhomogeneous Media  
*Seung-Cheol Lee, Vineet Rawat, Jin-Fa Lee,*

- 16:20 Application of Rational Function Approximation Technique to Hybrid FE/BI/MLFMA for 3D Scattering  
*Zhen Peng, Xin-Qing Sheng,*
- 16:40 A Twofold Iterative Algorithm with Multilevel ILU Preconditioning of Hybrid FE/BI/MLFMA for 3D Scattering  
*Zhen Peng, Xin-Qing Sheng,*
- 16:20 Magnetic Resonance Electrical Impedance Tomography  
*Jijun Liu,*
- 16:40 Inversion of the Wideband High-frequency Electromagnetic Data  
*S. T. Zheng, Z. F. Zeng, S. X. Liu, F. S. Liu,*
- 17:00 Nondestructive Testing in Mechanical Engineering by Wave Inversion  
*Chien-Chang Lin, Ganquan Xie, Jianhua Li,*

---

**Session 1P5**
**Inverse Problem in the Mechanics, Materials and Electromagnetics**
**Monday PM, March 26, 2007**
**Room E (Jinyuan)**

Organized by Ganquan Xie, Jianhua Li

 Chaired by Ganquan Xie, Jianhua Li, Hai-Tao Cai
 

---

- 13:00 A GL Metro Carlo EM Inversion  
*Ganquan Xie, Jianhua Li, Lee Xie, Feng Xie,*
- 13:20 A 3D GL EM Modeling and Inversion for Forest Exploration and Felling  
*Jianhua Li, Ganquan Xie, Lee Xie, Feng Xie,*
- 13:40 GL Electromagnetic Field Modeling and Inversion in Communication of the Deer  
*Jianhua Li, Feng Xie, Lee Xie, Jing Li, Ganquan Xie,*
- 14:00 The Problem of an Elastic Wave on Magnetic Field  
*Hai-Tao Cai,*
- 14:20 The Application of BP Neural Network for the Forecast of EEG Signal  
*Muzhou Hou, Xuli Han, Xian Huang,*
- 14:40 Multi-grid Method of Quasi Elastic Fluid Flow  
*Xuequan Li, Haitao Cai, Hongwei Zhang, Yinghao Cai,*
- 15:00 **Coffee Break**
- 15:20 Result Concerning Delay-Dependent Exponential Stability of Delayed Neural Networks  
*Xin-Ge Liu, Hai-Tao Cai, Mei-Lan Tang,*
- 15:40 The Electromagnetic Stirring System in the Continuous Casting  
*J. Li, G. Xie, J. H. Li, Z. Q. Liao, H. H. Li,*
- 16:00 Thermal Stress Analysis of Functionally Graded Cemented Carbides  
*Ziqian Huang, Haitao Cai, Baiyun Huang,*

---

**Session 2A1**
**Novel Theoretical Advances and Potential Applications of Metamaterials**
**Tuesday AM, March 27, 2007**
**Room C (Zhongyuan)**

Organized by Jan Zehentner, Nader Engheta

 Chaired by Jan Zehentner, Nader Engheta
 

---

- 08:00 Wave Propagation along Periodic Arrays and Lattices of Metamaterial Particles with Dominant Higher-order Multipolar Polarizabilities  
*Jingjing Li, Andrea Alù, Nader Engheta,*
- 08:20 Particular Properties in the Dielectric Response of Negative-permittivity Scatterers  
*A. Sihvola,*
- 08:40 Characterization of Resonant Modes in a Cube of SRR's  
*J. D. Baena, L. Jelínek, R. Marqués, J. Zehentner,*
- 09:00 Accurate Analysis of Metamaterials Involving Finite Arrays of Split-ring Resonators and Thin Wires  
*Levent Gürel, "nobreakspaceÖzgür Ergül, Alper Ünal,*
- 09:20 A Magnetic Metamaterial Composed of Randomly Oriented SRRs  
*L. Jelínek, J. Macháč, J. Zehentner,*
- 09:40 Quasi-isotropic Frequency Selective Surface  
*J. D. Baena, J. Mock, L. Jelínek, J. Gollub, D. R. Smith, R. Marqués,*
- 10:00 **Coffee Break**
- 10:20 Novel Metamaterial Coupled-line Couplers: Theory and Implementations  
*C. Caloz, H. V. Nguyen, Y. Zhang,*
- 10:40 Compact Rat-race Hybrid Based on Complementary Split Rings Resonators  
*G. Sisó, J. Bonache, M. Gil, I. Gil, J. García-García, F. Martín,*

- 11:00 High-pass Filters Implemented by Composite Right/Left Handed (CRLH) Transmission Lines Based on Complementary Split Rings Resonators (CSRRs)  
*Marta Gil, Jordi Bonache, Jordi Selga, Joan García-García, Ferran Martín,*
- 11:20 Novel Reconfigurable Left-handed Unit Cell for Filter Applications  
*Branka Jakanovic, Vesna Crnojevic-Bengin,*
- 11:40 A CRLH Microstrip Delay Line for High-speed Electronic Circuits  
*S. Sebak, L. Zhu, V. K. Devabhaktuni, C. Wang,*

- 11:00 Monitoring Snow Cover Characteristics with Multifrequency Radiometers  
*M. Brogioni, G. Macelloni, S. Paloscia, P. Pampaloni, S. Pettinato, E. Santi,*
- 11:20 Validation of Diurnal Cycle and Intra-seasonal Variability of TRMM Satellite Rainfall  
*Yimin Ji,*

---

**Session 2A2**  
**Remote Sensing of Water Cycle Related Components**

**Tuesday AM, March 27, 2007**

**Room B (Zhongyuan)**

Organized by Jiancheng Shi

Chaired by Jiancheng Shi, Kun-Shan Chen

- 
- 08:20 Design and Application of a VNA-based Polarimetric SAR for Deep Soil Moisture Estimation  
*Wenji Zhang, Xiaojuan Zhang,*
  - 08:40 Inversion of Permittivities for Layered Rough Surfaces  
*Xiaorong Lu, Xiaojuan Zhang, Guangyou Fang,*
  - 09:00 A Study on Soil Moisture Estimation with AMSR-E  
*Jiancheng Shi, Tom Jackson, K. S. Chen,*
  - 09:20 Soil Moisture Algorithm Validation with Ground Based Networks  
*T. J. Jackson, M. H. Cosh, R. Bindlish, J. Du, X. Zhan,*
  - 09:40 Effect of Surface Layer Soil Moisture Change Assimilation on the Accuracy of Soil Moisture State Estimated by a Land Surface Model  
*Ujjwal Narayan, Venkat Lakshmi, Thomas J. Jackson,*
  - 10:00 **Coffee Break**
  - 10:20 Influence of Vegetation Water Content on Scattering Characteristics of Leaves at 19 and 37 GHz Frequencies  
*Bing Lin, Wenbo Sun, Qilong Min,*
  - 10:40 Experimental Results from a Microwave Multifrequency Radiometer Campaign of Seasonal Snow  
*Martti Hallikainen, Panu Lahtinen, Timo Piepponen, Lauri Honkavaara, Aleksis Schäfer,*

---

**Session 2A3**  
**Optical Matter: Modeling and Experimental Realizations 1**

**Tuesday AM, March 27, 2007**

**Room A (Zhongyuan)**

Organized by Jean-Marc R. Fournier, Tomasz M. Grzegorzcyk

Chaired by Jean-Marc R. Fournier, Tomasz M. Grzegorzcyk

- 
- 08:40 Using Optofluidics for Biosensing  
*Changhuei Yang, Demetri Psaltis,*
  - 09:00 Interactive Bio-photonics Workstation for Manipulation and Observation in 3D  
*Jesper Glückstad,*
  - 09:20 Optical Trapping on Biological Samples and Its Combination with Other Fields in Optics  
*Enzo Di Fabrizio,*
  - 09:40 A Quantum Electrodynamical Understanding of Optical Binding  
*David L. Andrews,*
  - 10:00 **Coffee Break**
  - 10:20 Optical Binding Force Characterization of Double-droplet Systems  
*M. Guillon, B. Stout,*
  - 10:40 Optical Binding  
*N. K. Metzger, P. J. Reece, E. M. Wright, K. Dhollakia,*
  - 11:00 Interactions between Particles in an Optical Trap  
*S. Barland, G. L. Lippi, R. Kaiser, J.-M. Fournier,*
  - 11:20 Theoretical Study of Optical Forces and Binding  
*Jack Ng, Zhifang Lin, Yurong Zhen, Zhihong Hang, C. T. Chan, Ping Sheng,*

<b>Session 2A4</b> <b>Extended/Unconventional Electromagnetic Theory, EHD/EMHD and Electrobiolgy 1</b>	<b>Session 2A5</b> <b>Microwave Applications in Material Processing and Characterization</b>
<b>Tuesday AM, March 27, 2007</b> <b>Room D (Zhongyuan)</b> Organized by Hiroshi Kikuchi Chaired by Hiroshi Kikuchi, Dirk K. Callebaut	<b>Tuesday AM, March 27, 2007</b> <b>Room E (Jinyuan)</b> Organized by Juh Tzeng Lue Chaired by Juh Tzeng Lue, Cheng-Chung Chi
08:00 The Optimal Design of the LVDS Bus with High EMS <i>K. Radkovsky, M. Kaska, Z. Motycka, P. Drexler, T. Jirku, Z. Szabo, E. Kadlecova, P. Fiala,</i>	08:20 Microwave Applications in Growth and Physical Property Measurements of Nanomaterials <i>J. T. Lue, L. W. Chang, H. Y. Miao,</i>
08:20 A Passive Optical Location with Limited Range <i>P. Fiala, T. Jirku, R. Kubasek, P. Drexler, P. Konas,</i>	08:40 Complex Dielectric Measurement Using TM <sub>010</sub> Cylindrical Cavity <i>Jing Li, C. Richard Liu,</i>
08:40 Model of a Reactor Chamber with Microwave Heating <i>Petr Drexler, Tomáš Jirku, Zoltán Szabó, Pavel Fiala,</i>	09:00 Spectroscopic Characterization of Ba(Mg <sub>1/3</sub> Ta <sub>2/3</sub> )O <sub>3</sub> Dielectrics for the Application to Microwave Communication <i>Hsiu-Fung Cheng, Chia-Ta Chia, Hsiang-Lin Liu, Mei-Yu Chen, Yuan-Tai Tzeng, I-Nan Lin,</i>
09:00 Design, Numerical Analysis and Test of HF Absorber <i>E. Kadlecová, P. Fiala, M. Zeman, M. Steinbauer, Z. Szabó,</i>	09:20 Improving the Characteristics of Ba <sub>2</sub> Ti <sub>9</sub> O <sub>20</sub> Materials by Using Pre-reacted Ba-Ti-O Compounds <i>I-Nan Lin, Chi-Ben Chang, Keh-Chyang Leou,</i>
09:20 Properties and Numerical Simulation of CaCl <sub>2</sub> ·6H <sub>2</sub> O Phase Change <i>I. Behunek, T. Bachorec, P. Fiala,</i>	09:40 Dynamic Responses of Carbon Nanotubes Probed with Optical and Terahertz Pulses <i>Che-Chia Chang, Kuo-Chien Hsu, Hsin-Chia Ho, Shyh-Shii Pai, Cheng-Chung Chi, Shih-Hao Tseng, Nyan-Hwa Tai,</i>
09:40 Turbulence Modeling of Air Flow in the Heat Accumulator Layer <i>I. Behunek, P. Fiala,</i>	10:00 <b>Coffee Break</b>
10:00 <b>Coffee Break</b>	10:20 Low-temperature Crystallization of Lead Zirconate Titanate Thin Films Using 2.45 GHz Microwaves <i>T. H. Chang, Ankam Bhaskar, H. Y. Chang, S. Y. Cheng,</i>
10:20 Identifying of the Special Purpose Generator Pulses <i>P. Drexler, P. Fiala,</i>	10:40 Raman Interpretation of Microwave Properties of $x\text{Ba}(\text{Mg}_{1/3}\text{Ta}_{2/3})\text{O}_3+(1-x)\text{Sr}(\text{Mg}_{1/3}\text{Ta}_{2/3})\text{O}_3$ Ceramics <i>C.-T. Chia, P.-J. Chang, I.-N. Lin, L.-J. Lin,</i>
10:40 A Simple Numerical Simulation of Internal Structure of Particles Test <i>K. Bartusek, P. Fiala,</i>	11:00 Synthesis of YAG:Ce Phosphor for LEDs by Microwave Sintering <i>R. S. Liu, I. Baginskiy, J. C. Lin, S. Y. Pu, T. C. Huang,</i>
11:00 Numerical Model of Optimization of the Lead-acid Accumulator Grids <i>E. Kadlecova, I. Behunek, P. Fiala,</i>	11:20 Electron Transport in Silicon Point-contact Structures <i>S. F. Hu, A. Souifi, C. Y. Huang,</i>
11:20 Numerical Modeling of the Special Light Source with Novel R-FEM Method <i>E. Kadlecova, P. Fiala,</i>	11:40 Microwave Near-field Microscope Based on Ferrite-disk MSW Resonators <i>Michael Sigalov, E. O. Kamenetskii, Rewen Shavit,</i>
11:40 Numerical Modeling of Accuracy of Air Ion Field Measurement <i>K. Bartušek, P. Fiala, T. Bachorec, E. Kadlecová,</i>	

---

**Session 2A6a**  
**Biomedical Applications of Light Scattering Methods**

---

**Tuesday AM, March 27, 2007**

**Room F (Xiuyuan)**

Organized by Xin-Hua Hu, Gorden Videen

Chaired by Xin-Hua Hu, Gorden Videen

---

- 08:00 Femtosecond Biophotonics  
*Min Gu,*
- 08:20 Image Subtraction Analysis for Finger Color Variation  
*I. Fujieda, A. Hori, K. Tai,*
- 08:40 Influence of Micro-particle Surface Roughness on TAOS Patterns: Experimental and Theoretical Studies  
*Jean-Claude Auger, Gustavo E. Fernandes, Yong-Le Pan, Kevin B. Aptowicz, Richard K. Chang,*
- 09:00 The Quest for Detection and Identification of Bio-aerosols  
*Richard K. Chang, Gustavo E. Fernandes, Yong-Le Pan, Kevin Aptowicz, Ronald G. Pinnick,*
- 09:20 Angle-resolved Measurement and Simulations of Mueller Matrix Elements of B-cells and HL60 cells  
*H. Ding, J. Q. Lu, R. S. Brock, L. P. Burke, D. A. Weidner, T. J. McConnell, X. H. Hu,*
- 09:40 *In Vivo* Measurement and Modeling of Multispectral Reflectance Images for Melanoma Diagnosis  
*C. Chen, K. M. Jacobs, J. Q. Lu, R. E. Cuenca, J. Finley, X. H. Hu,*
- 10:00 **Coffee Break**

---

**Session 2A6b**  
**Medical and Biological Applications of Microwaves**

---

**Tuesday AM, March 27, 2007**

**Room F (Xiuyuan)**

Chaired by Jan Vrba, Alireza Baghai-Wadji

---

- 10:20 Treatment of Solid Malignant Tumors with Microwave Balloon Ablation Catheters and Localized Chemotherapy  
*Giorgio di Palma, Ji-Bin Liu, Daniel D. Mawhinney, Ralph Meyer, Adolph Presser, Ernest L. Rosato, Arye Rosen, Fred Sterzer,*

- 10:40 Vibrational Medicine: A Closer Look at Homeopathics  
*S. D. R. Bruell,*
- 11:00 Technical Aspects of Research on Interactions between EM Field and Biological Systems  
*Jan Vrba, Luca Vannucci, Peter Peschke, Frantisek Vozeh, Max Vojtisek,*
- 11:20 Microwave Thermo-therapy for Cancer Treatment  
*J. Vrba, L. Oppl, J. Kvěch, J. Kubeš,*
- 11:40 Issues in Wireless Intracranial Pressure Monitoring at Microwave Frequencies  
*U. Kawoos, R. V. Warty, F. A. Kralick, M. R. Tofighi, A. Rosen,*

---

**Session 2A7**  
**Electromagnetic Systems and Components for Defense and Security**

---

**Tuesday AM, March 27, 2007**

**Room G (Hengyuan)**

Organized by Alberto Jose de Faro Orlando

Chaired by Alberto Jose de Faro Orlando, Fabio D. P. Alves

---

- 08:00 Characterization of the Efficiency of Radiation Absorbing Material by Measurement of RCS of Planes and Cylinder in Open Field  
*Samuel Machado Leal da Silva, Alberto José de Faro Orlando, Mirabel Cerqueira Rezende,*
- 08:20 Simulation of a Wideband Pulsed Radar for Indoor Environments Using FDTD  
*Rubem G. Farias, Victor Dmitriev, Francisco Carlos B. F. Müller, Domingos Savio das Virgens Alves,*
- 08:40 Propagation of Electromagnetic Waves in Amazon Rain Forest Environment  
*Domingos Sávio das Virgens Alves, Alberto José de Faro Orlando, Victor Dmitriev,*
- 09:00 Development of a Methodology for Infrared Aircraft Emission Estimation  
*R. A. T. Santos, C. G. R. Taranti, F. D. P. Alves, J. E. B. Oliveira,*
- 09:20 Measurements of Reflectivity and Complex Permittivities of Radar Absorbing Materials Based on Conducting Polymers  
*M. Franchitto, A. J. F. Orlando, R. Faez, M. C. Rezende, I. M. Martin,*
- 09:40 Fast Variable Optical Attenuator Using Double Acousto-optic Modulator and Applications  
*Gefeson Mendes Pacheco,*
- 10:00 **Coffee Break**

10:20	Designing of Wide Band Electrooptic Phase Modulators with Asymmetric CPS Electrodes <i>Cláudio Kitano, José Edimar B. Oliveira,</i>	7	A Novel Time-domain Integration Method for Transient Analysis of Nonuniform Transmission Lines <i>M. Tang, J. F. Mao, X. C. Li,</i>
10:40	Practical Aspects of the Characterization of Ferrite Absorber Using One-port Device at RF Frequencies <i>A. Côrtes, A. C. C. Migliano, V. L. O. Brito, A. J. F. Orlando,</i>	8	Building Optimal Statistical Models with the Parabolic Equation Method <i>M. Le Palud,</i>
11:00	NIR, MWIR and LWIR Quantum Well Infrared Photodetector using Interband and Intersubband Transitions <i>Fabio Durante P. Alves, G. Karunasiri, N. Hanson, M. Byloos, H. C. Liu, A. Bezinger, M. Buchanan, R. A. T. Santos,</i>	9	Echo Extraction Method for a Ground Penetrating Radar <i>Yiwei He, Hiroshi Mitsumoto, Zhongquan Ren,</i>
11:20	Adaptive Multiple Target Tracking Systems for Air-field Surveillance Radar <i>H. Deng, P. F. Wang,</i>	10	Reaction Sintering Process for Improving the Microwave Dielectric Properties of Ba <sub>2</sub> Ti <sub>9</sub> O <sub>20</sub> Materials <i>Ya-Ju Chu, I-Nan Lin,</i>
11:40	A Fully-packaged Longwave Infrared (LWIR) Quantum Dot Photodetector with High Photodetectivity <i>Xuejun Lu, Jarrod Vaillancourt, Mark J. Meisner,</i>	11	The Study on Anti-jamming Capability of UTP Applied in Vehicle CAN Bus <i>Longshan Yang, Junzhi Zhang, Lifang Wang,</i>
<b>Session 2AP</b>		12	The Growth of Multiwall Carbon Nanotubes by Microwave Plasma Enhanced Chemical Vapour Deposition <i>L. W. Chang, J. T. Lue, H. Y. Miao,</i>
<b>Poster Session 2</b>		13	The Quasi-elliptic Bandpass Filter Using Quarter-wavelength Stepped Impedance Resonators <i>Yu-Wei Chen, Yen-Ju Liu, Min-Hua Ho,</i>
<b>Tuesday AM, March 27, 2007</b>		14	New Type Piezomagnetic Ferrite Materials and Their New Applications <i>Quanlu Li, Yuan Li,</i>
<b>9:00 AM - 17:00 PM</b>		15	Debye Series Analysis of Forward Scattering by a Multi-layered Sphere <i>Renxian Li, Xiang'e Han,</i>
<b>Room K (Zhongyuan)</b>		16	Comparison of Two Drain Modulator for Multi-mode Multi-band Transmitters Employing EER Technique <i>G. Filice, V. Ferrara,</i>
1	The Features of the Angular Spectrum of Scattered Radiation by Turbulent Collisional Anisotropic Magnetized Plasma <i>G. V. Jandieri, I. B. Shirokov, V. G. Jandieri, Z. M. Diasamidze,</i>	17	Electronic Structure as a Function of Temperature for Si $\delta$ -doped Quantum Wells in GaAs <i>L. M. Gaggero-Sager, N. Moreno-Martinez, I. Rodriguez-Vargas, R. Pérez-Alvarez, V. V. Grimalsky, M. E. Mora-Ramos,</i>
2	Occupational Exposure Assessment of the Static Magnetic Flux Density Generated by Nuclear Magnetic Resonance Spectroscopy for Biochemical Purposes <i>Gilbert Decat,</i>	18	p-n-p $\delta$ -doped Quantum Wells in GaAs <i>L. M. Gaggero-Sager, I. Rodriguez-Vargas,</i>
3	A Memory-efficient Strategy for the FDTD Implementation Applied to the Photonic Crystals Problems <i>Yu Liu, Ziqiang Yang, Zheng Liang,</i>	19	Dynamic Behaviors of PbS Irradiated by Laser Pulse <i>Jinjing Feng, Jixiang Yan, Shouhuan Zhou,</i>
4	Fast Computation of Electromagnetic Wave Propagation and Scattering for Quasi-cylindrical Geometry <i>Shaolin Liao,</i>	20	Dynamic Behavior of a Mono-coil Linear Actuator <i>A. K. Aguillar, J. P. A. Bastos, N. Sadowski, N. J. Batistela,</i>
5	On the Validity of Physical Optics for Narrow-band Beam Scattering and Diffraction from the Open Cylindrical Surface <i>Shaolin Liao,</i>	21	A Novel Design of Narrow Band Filter for Harmonic Generation in Nonlinear Optics <i>J. J. Wu, T. J. Yang,</i>
6	Beam-shaping PEC Mirror Phase Corrector Design <i>Shaolin Liao,</i>		

- 22 Time Variant Thresholds — Automatic Adjustment When Filtering Signals in MR Tomography  
*E. Gescheidtova, R. Kubasek, Z. Smekal, K. Bartusek,* 36 Nano Logical Gate or Quantum Computing  
*Diyar Bajalan,*
- 23 A Slotted Coaxial Antenna as an Alternative to Wire Dipole Antennas  
*M. B. Perotoni, S. E. Barbin,* 37 Design and Performance Evaluation of the ICI Self-cancellation Method in the Wireless OFDM Communication  
*Yingshan Li, Jin-Kook Chung, Heung-Gyoon Ryu,*
- 24 Towards  $-1$  Effective Index with Metallo-dielectric Multilayer  
*Haitao Jiang, Boris Gralak,* 38 Unit Cell Models for Composite Right/Left-handed Transmission Lines (CRLH-TL) Metamaterials  
*Wanzhao Cui, Wei Ma,*
- 25 Study of Certain Subband-based Adaptive Modulation Schemes in an OFDM System  
*L. J. Shi, L. Rong, R. F. Lin, Y. Du,* 39 An Improved Design of Feed-forward Power Amplifier  
*Hongbo Ma, Quanyuan Feng,*
- 26 Study of the Optimal Switching Levels of Adaptive Modulation for a Two-user System under Constant Power Condition  
*L. M. Fang, L. Rong, R. F. Lin, Y. Du,* 40 Design of a Low Power, High Performance BICMOS Current-limiting Circuit for DC-DC Converter Application  
*Hongbo Ma, Quanyuan Feng,*
- 27 Backbone Network Logical Design for Connecting between Sub-networks with WDM System  
*Amornrat Mahaprom, Noppin Anantrasirichai,* 41 Analysis of Composite Right/Left-handed Coplanar Waveguide Zeroth-order Resonators with Application to a Band-pass Filter  
*C. Li, K. Y. Liu, F. Li,*
- 28 Laser Speckle Imaging of a Finger by Scattered Light Optics  
*A. Kuramoto, A. Hori, I. Fujieda,* 42 A New Type of Microstrip Coupler with Complementary Split-Ring Resonator (CSRR)  
*K. Y. Liu, C. Li, F. Li,*
- 29 Electrokinetic Mixing Using Electrical Conductivity Gradients and Electric Field Intensity Perturbations  
*Win-Jet Luo, Kuo-Ching Chang, Kao-Feng Yarn, Shou-Ping Hsu, I-Ting Hsieh, Jian-Cheng Chen,* 43 Equations for the Interaction between Deformation and Electromagnetic Field  
*Jianhua Xiao,*
- 30 Modified Plane Wave Expansion Method for the Analysis of Two-dimensional Highly-dispersive Photonic Crystals  
*K.-H. Chi, W.-L. Yeh, Y.-P. Chiou,* 44 Transverse-mode Selection in Optically Pumped Vertical External Cavity Surface Emitting Laser with a Intracavity Lens  
*X. Hachair, S. Barbay, R. Kuszelewicz,*
- 31 Design of a Warehouse Management System Based on RFID  
*X. Q. Lian, S. H. Ji,* 45 A Novel Analysis for Circular-groove Guide  
*Yinqin Cheng,*
- 32 Algorithms for Blocking Reclosing onto Permanent Faults and Fault Distance Calculation in DC Traction Power Supply System  
*Shengtao Fan, Yunhua Li, Xiqing Li, Shuyou Guo,* 46 The Platform for PolSAR Data Analysis, Processing and Application  
*Xi Chen, Chao Wang, Hong Zhang,*
- 33 Nonintrusive Measurement of Electrical Conductivity for a Eucalyptus Fire  
*Kgakgamatso Mphale, Mal. Heron,* 47 Approximate ML Detection Based on MMSE for MIMO Systems  
*Fan Wang, Yong Xiong, Xiumei Yang,*
- 34 Absorption of Microwaves in a Low Intensity Poplar Gum Bark Fire  
*Kgakgamatso Mphale, Mal. Heron,* 48 Enhanced Diffraction in Cholesteric Liquid Crystal Gratings  
*I.-Min Jiang, Ming-Shan Tsai, Wen-Chi Hung, Wood-Hi Cheng,*
- 35 Numerical Analysis of Curved Surface Perforated Periodically with Apertures  
*Yulian Liu, Qiang Zhang, Mingchun Hu, Tie Gao,*

**Session 2P1****Metamaterials: Physics, Fabrication and Applications**

Tuesday PM, March 27, 2007

Room C (Zhongyuan)

Organized by Le-Wei Li, Tie Jun Cui

Chaired by Le-Wei Li, Tie Jun Cui

- 13:00 Suppression of Surface Wave Coupling of Antenna Systems with Magnetic Metamaterial  
*Bae-Ian Wu, Hongsheng Chen, James Chen, Tomasz M. Grzegorzczak, Jin Au Kong,*
- 13:20 Coaxial-SRR: a New Geometry to Drastically Reduce the Electrical Size of the SRR  
*J. D. Baena, J. Gollub, D. R. Smith, R. Marqués,*
- 13:40 Realization of Impedance Boundary in Terms of a Slab of Wave-guiding Medium  
*I. V. Lindell, A. H. Sihvola,*
- 14:00 Negative Reflections of Electromagnetic and Optical Waves at the Interface of Chiral Medium and Perfectly Conductor  
*Chao Zhang, Tie Jun Cui,*
- 14:20 Size Reduction of SRRs for Metamaterial and Left Handed Media Design  
*J. García-García, F. Aznar, M. Gil, J. Bonache, F. Martín,*
- 14:40 S-shaped Patch Antenna Fed by Dual Offset Electromagnetically Coupled for 5–6 GHz High Speed Network  
*Fitri Yuli Zulkifli, Faisal Narpati, Eko Tjipto Rahardjo,*
- 15:00 **Coffee Break**
- 15:20 Macroscopic Magnetic Permeability — Positive, Negative, or Complex — of a Composite Medium with Non-magnetic Constituents  
*David J. Bergman, Uri Evra,*
- 15:40 Realization of Generalized Soft-and-hard Boundary  
*I. Hanninen, I. V. Lindell, A. H. Sihvola,*
- 16:00 UPML Absorbing Boundary Condition for Truncating the Boundary of DNG Metamaterials  
*K. S. Zheng, W. Y. Tam, D. B. Ge,*
- 16:20 Near-fields of Split-Ring-Resonator Metamaterials in the NIR  
*T. Zentgraf, J. Dorfmueller, R. Vogelgesang, J. Kuhl, K. Kern, C. Rockstuhl, C. Etrich, F. Lederer, H. Giessen,*

- 16:40 A Fast Volume-surface Integral Equation Solver for Scattering Properties of NIMs  
*Y. N. Li, H. Y. Yao, L. W. Li,*
- 17:00 Bandwidth Enhancement of a Dual Band High Gain EBG Antenna  
*F. Keshmiri, M. Tayarani,*

**Session 2P2a****Active and Passive Remote Sensing**

Tuesday PM, March 27, 2007

Room B (Zhongyuan)

Organized by Jixiang Yan

Chaired by Jixiang Yan, Changming Zhao

- 13:20 Novel Sequential Monte Carlo Method to Bearing Only Tracking  
*Hongquan Qu, Shaohong Li,*
- 13:40 Applications of Pseudo-polar FFT in Synthetic Aperture Radiometer Imaging  
*Cheng Zhang, Ji Wu, Weiyang Sun,*
- 14:00 Radar Imaging Simulation of Man-made Target Based on Electromagnetic Model  
*K. Y. Guo, X. M. Pan, X. Q. Sheng,*
- 14:20 Multi-frequency Microwave Emission of Broadleaf Forests in Italy  
*E. Santi, G. Macelloni, S. Paloscia, P. Pampaloni, S. Pettinato,*
- 14:40 Backscattering Border Effects for Forests at C-band  
*L. Villard, P. Borderies,*
- 15:00 **Coffee Break**

**Session 2P2b****Scattering and Emission Models for Microwave Remote Sensing**

Tuesday PM, March 27, 2007

Room B (Zhongyuan)

Organized by Saibun Tjuatja, Kun-Shan Chen

Chaired by Saibun Tjuatja, Kun-Shan Chen

- 15:20 Effects of Fresnel Corrections in the Scattered Field of General Ellipsoids  
*J. Y. Koay, H. T. Ewe, H. T. Chuah,*
- 15:40 A Comparison on the Soil Moisture Retrieval Algorithms by Using Microwave Radiometry  
*Yuei-An Liou, Tzu-Yin Chang,*



- 16:00 Damage Estimation for Disasters from SAR Images Using Fractal Dimension  
*Y. C. Tzeng, S. H. Chiu, K. S. Chen,*
- 16:20 Polarimetric Analysis of Radar Scattering from Rough Surface  
*Kun-Shan Chen, Jong-Sen Lee, J. C. Shi, Hong-Wei Lee,*
- 16:40 A Microwave Emission Model for Lunar Regolith  
*S. Tjuatja, A. K. Fung, D. Shresta, J. W. Bredow,*
- 17:00 Comparison of Snow Water Equivalence Derived from SnowModel and the Polarimetric Scanning Radiometer in CLPX03  
*Lingmei Jiang, Jiancheng Shi,*
- 17:20 An Experimental Study of Microwave Imaging through Partitions  
*J. Bredow, S. Tjuatja, L. Camacho, S. Gunnala,*

- 15:40 Nonparaxial Optical Vortices  
*T. A. Nieminen,*
- 16:00 Radiation Pressure and the Linear and Angular Momenta of Light in Dielectric Media  
*Masud Mansuripur, Armis R. Zakharian, Jerome V. Moloney,*

---

**Session 2P4a**

**Extended/Unconventional Electromagnetic Theory, EHD/EMHD and Electrobiolgy 2**

---

**Tuesday PM, March 27, 2007**

**Room D (Zhongyuan)**

Organized by Hiroshi Kikuchi

Chaired by Hiroshi Kikuchi, Dirk K. Callebaut

---



---

**Session 2P3**  
**Optical Matter: Modeling and Experimental Realizations 2**

---

**Tuesday PM, March 27, 2007**

**Room A (Zhongyuan)**

Organized by Jean-Marc R. Fournier, Tomasz M. Grzegorzcyk

Chaired by Jean-Marc R. Fournier, Tomasz M. Grzegorzcyk

---

- 13:40 Toolbox for Calculation of Optical Forces and Torques  
*T. A. Nieminen, V. L. Y. Loke, G. Knöner, A. M. Brańczyk,*
- 14:00 Radiation Dynamics of Quantum Dots Embedded in Three-dimensional Photonic Crystals  
*Min Gu,*
- 14:20 Optically-induced Forces in Microphotonics  
*M. L. Povinelli, M. Lončar, M. Ibanescu, E. J. Smythe, Shanhui Fan, S. G. Johnson, F. Capasso, J. D. Joannopoulos,*
- 14:40 Strength Measurement of Various Interferometric Traps  
*Jean-Marc Fournier, Pierre Jacquot, Fabrice Merenda, Johann Rohner, René-P. Salathé,*
- 15:00 **Coffee Break**
- 15:20 The FDTD Computation of Trapping Forces in 2 and 3D Systems  
*Robert C. Gauthier,*

- 13:00 Laboratory Evidence of Helicity or Vortex Generation in an Electric Quadrupole by a Universal Electric-cusp Type Plasma Reactor: Simulation of Tornadoic Thunderstorms  
*H. Kikuchi,*
- 13:20 Generation of Magnetic Fields: Various Multipolar Seed Fields  
*D. K. Callebaut, H. Kikuchi,*
- 13:40 Experimental Verification of Active Traveling Wave Antenna (II)  
*Tsunehiro Obata, Ryo Miyazaki, Hiroto Yamazaki, Hiroshi Kikuchi,*
- 14:00 Numerical Model of Inductive Flowmeter  
*P. Fiala, T. Jirku, I. Behunek,*
- 14:20 New Numerical Technique for Non-destructive Testing of the Conductive Materials  
*T. Bachorec, T. Jirku, J. Dedkova,*
- 14:40 Vortices of Electromagnetic Fields in Microwave Structures with Ferrite Samples  
*Michael Sigalov, E. O. Kamenetskii, Rewen Shavit,*
- 15:00 **Coffee Break**

---

**Session 2P4b**

**Plasmas: Normal and Unconventional**

---

**Tuesday PM, March 27, 2007**

**Room D (Zhongyuan)**

Organized by Dirk K. Callebaut, Hiroshi Kikuchi

Chaired by Dirk K. Callebaut, Hiroshi Kikuchi

---

- 15:20 Higher Order Analysis of Plasma Cylinder Waves: Radial Power Law  
*D. K. Callebaut, G. K. Karugila,*
- 15:40 Perturbation of Singular Chasma Equation  
*D. K. Callebaut,*
- 16:00 Post-magneto-hydrodynamics  
*D. K. Callebaut, A. H. Khater,*
- 16:20 Dissipative Instability of Overlimiting Electron Beam in a Nonuniform-cross-section Waveguide  
*Eduard V. Rostomyan,*
- 16:40 Influence of Dissipation on Instability Caused by Growing of the Negative Energy Wave of Undelimiting E-beam  
*Eduard V. Rostomyan,*
- 17:00 Helicity or Vortex Generation in Hydrodynamic (HD), Magneto-hydrodynamic (MHD), and Electrohydrodynamic (EHD) Regimes  
*H. Kikuchi,*
- 15:00 **Coffee Break**
- 15:20 3D GL EM and Quantum Mechanical Coupled Modeling for the Nanometer Materials  
*Ganquan Xie, Jianhua Li, Feng Xie, Lee Xie,*
- 15:40 Radiated EMI Recognition and Identification from PCB Configuration Using Neural Network  
*P. Sujintanarat, P. Dangkham, S. Chaichana, K. Aunchaleevarapan, P. Teekaput,*
- 16:00 The Effect of Shape of Dielectric Rod on the Band Gap of Two-dimensional Photonic Crystal: From Band Structure Point of View  
*K. P. Chang, S. L. Yang, L. F. Shen, Tzong-Jer Yang,*
- 16:20 Recognition and Identification of Radiated EMI for Shielding Aperture using Neural Network  
*P. Dangkham, P. Sujintanarat, S. Chaichana, K. Aunchaleevarapan, P. Teekaput,*
- 16:40 High Sensitivity Electro-optic Magnetic Field Probe  
*W. K. Kuo, J. Y. Kuo,*

**Session 2P5****Electromagnetic Modeling and Inversion and Applications**

Tuesday PM, March 27, 2007

Room E (Jinyuan)

Organized by Ganquan Xie, Chien-Jang Wu

Chaired by Ganquan Xie, Chien-Jang Wu

- 13:00 The 3D GL EM-Flow-Heat-Stress Coupled Modeling  
*G. Xie, J. H. Li, L. Xie, F. Xie, J. Li,*
- 13:20 Reconstructing Properties of Subsurface from Ground-penetrating Radar Data  
*Hui Zhou, Dongling Qiu, Takashi Takenaka,*
- 13:40 Theory of rf Magnetic Permeability of Nearly Ferromagnetic Superconductors in a Parallel Field  
*Chien-Jang Wu,*
- 14:00 Study on Transmission Characteristic of Split-ring Resonator Defected Ground Structure  
*Bian Wu, Bin Li, Tao Su, Chang-Hong Liang,*
- 14:20 Fabrication of Polymer Grating with Low-shrinkage Polymers  
*Wen-Chung Chang, Kun-Yi Lee, Wei-Ching Chuang, Chun-Cheng Lu,*
- 14:40 Analysis and Fabrication of Fiber Optic Collimators  
*Wen-Chung Chang, Kun-Yi Lee, Wei-Ching Chuang, Chi-Ting Ho, Sheng-Kai Tseng,*
- 17:00 Crosstalk and Delay Minimization Using Artificial Neural Networks  
*A. Ilumoka, R. Srinivasan,*
- 17:20 The Spectral Expansion on the Entire Real Line of Green's Function of the Two-dimension Sommerfeld problem for a Two-layer Medium in the Fundamental Functions of a Nonself-adjoint Sturm-Liouville Operator  
*E. G. Saltykov,*
- Session 2P6**  
**Microwave and Millimeter Wave Circuits and Devices, CAD**
- Tuesday PM, March 27, 2007**  
**Room F (Xiuyuan)**  
Organized by Hsien-Chin Chiu  
Chaired by Hsien-Chin Chiu
- 13:00 Microstrip Coupled Line Filters with Spurious Band Suppression  
*M. C. Velázquez-Ahumada, J. Martel, F. Medina,*
- 13:20 Low-pass Elliptic Filters Using Mixed Microstrip-CPW Technologies  
*M. C. Velázquez-Ahumada, J. Martel, F. Medina,*
- 13:40 An Improved BSIM4 Model for 0.13- $\mu\text{m}$  Gate-length High Linearity CMOS RF Transistors  
*Chien-Cheng Wei, Chia-Shih Cheng, Shao-Wei Lin, Yong-Jhih Chen, Hsien-Chin Chiu, Wu-Shiung Feng,*

- |  |   |
|--|---|
| <p>14:00 Enhanced Stop-band Rejection by Symmetric Feeding in 1.8 GHz Cross-coupled Planar HTS Microwave Filters<br/><i>Hui-Kai Zeng, Kaung-Hsiung Wu, Tseng-Ming Uen, Yi-Shun Gou, Jenh-Yih Juang,</i></p> <p>14:20 A 10-GHz Low Phase Noise Differential Colpitts CMOS VCO Using Transformer Coupling Technology<br/><i>Chia-Shih Cheng, Yi-Tzu Yang, Chien-Cheng Wei, Hsien-Chin Chiu,</i></p> <p>14:40 Design of a CMOS Low-noise Amplifier with a Single Inductor Matching Network for the Ultra-wideband Systems<br/><i>Jern-Rern Yang, Huan-Wun Su,</i></p> | <p>13:40 Compact Multiband, Multiport Patch Antenna<br/><i>Dajun Cheng,</i></p> <p>14:00 Three-band Modified Transmission Line Antennas for Mobile Communication<br/><i>Takehiko Tsukiji, Yasunori Kumon,</i></p> <p>14:20 A Novel Compact Artificial Magnetic Conductor Based on Multiple Non-grounded Vias<br/><i>Seyed Mohammad Amjadi, Mohammad Soleimani,</i></p> <p>14:40 Frequency Reconfigurable Antennas for Mixed Network Communication<br/><i>Vijay K. Nair, Aly E. Fathy, Songnan Yang, Helen K. Pan, Samir El-Ghazaly,</i></p> |
|--|---|

15:00 **Coffee Break**

15:00 **Coffee Break**

- 15:20 A Fully Integrated CMOS 3.5 GHz WiMAX Voltage Controlled Oscillator  
*Man-Long Her, Che-Yao Fan, Chun-Chieh Chiu, Kei-Fung Lin,*

- 15:40 Parallel-coupled Bandpass Filter Using Interdigital Fingers and Defected Ground Structure  
*Man-Long Her, Wen Ko, Ming-Wei Hsu,*

- 16:00 Parallel-coupled Microstrip Filter Using Stepped-impedance and Over-coupled End Stages for Suppression of Spurious Responses  
*Shry-Sann Liao, Shih-Yi Yuan, Han-Nien Lin, Pou-Tou Sun, Kai-Chin Chuang,*

- 16:20 Error Analysis and Compensation Algorithm for Digital Predistortion Systems  
*Jianing Zhao, Jianyi Zhou, Ningde Xie, Jianfeng Zhai, Lei Zhang,*

- 16:40 Interaction Mechanism of a Field Emission Based THz Oscillator  
*M. C. Lin, P. S. Lu,*

- 15:20 Gain Enhancement for Reflectarray  
*The Nan Chang,*
- 15:40 Signal Attenuation of Ka Band Noise due to Rain from Small Aperture Antenna  
*Pongpathai Udomareyasap, Donekeo Lakanchanh, Nipha Leelaruj, Narong Hemmakorn,*

- 16:00 Measurement and Modelling of the Statistical Path Loss Model in the Urban Area of a Typical Brazilian City  
*R. A. Martins, A. G. D'Assunção, L. M. Mendonça,*

- 16:20 On Analysis of Planar Antennas Using FDTD Method  
*K. Niikura, R. Kokubo, K. Southisombath, H. Matsui, T. Wakabayashi,*

- 16:40 Design Narrow Slot Antenna for Dual Frequency  
*C. Chulvanich, J. Nakasawan, N. Songthanapitak, N. Anantrasirichai, T. Wakabayashi,*

- 13:00 On Antenna Impedance, Bandwidth and  $Q$   
*Geyi Wen,*

- 13:20 A Small Multi-band MEMS Switched PIFA  
*K. R. Boyle, P. G. Steeneken,*

- 17:00 A Recursive Street Canyon Model for Low Height Terminal System  
*S. Kang, C. Tzaras,*

---

**Session 2P7a**

**Compact Multiband Antenna**

**Tuesday PM, March 27, 2007**

**Room G (Hengyuan)**

Organized by Dajun Cheng

Chaired by Dajun Cheng

---



---

**Session 2P7b**

**Planar Antennas and Propagation for Mobile Communications**

**Tuesday PM, March 27, 2007**

**Room G (Hengyuan)**

Organized by Toshio Wakabayashi

Chaired by Toshio Wakabayashi

---

<b>Session 3A1</b> <b>Metamaterials towards the Visible</b> <hr/> <b>Wednesday AM, March 28, 2007</b> <b>Room C (Zhongyuan)</b> Organized by Carsten Rockstuhl Chaired by Carsten Rockstuhl, Falk Lederer	<b>Session 3A2</b> <b>Direct and Inverse Scattering Problems for Rough Surfaces</b> <hr/> <b>Wednesday AM, March 28, 2007</b> <b>Room B (Zhongyuan)</b> Organized by Hulya Sahinturk, Ali Yapar Chaired by Hulya Sahinturk, Ali Yapar
08:20 Impact of Plasmonic Resonances for Negative Index Materials <i>Thomas Pertsch, Frank Garwe, Carsten Rockstuhl, Uwe Hübner, Christoph Etrich, Christoph Menzel, Ekaterina Pshenay-Severin, Arkadi Shipulin, Jörg Petschulat, Andreas Tünnermann, Falk Lederer,</i>	08:00 Electromagnetic Scattering from Rough Heterogeneous Media with Surface Properties Correlated or not with the Volume Distribution <i>H. Chanal, P. Borderies, J. P. Segaud, M. Saillard,</i>
08:40 Negative-index Metamaterials Have Reached the Visible <i>G. Dolling, M. Wegener, C. M. Soukoulis, S. Linden,</i>	08:20 Electromagnetic Scattering Analysis from Rough Surfaces via Buried Object Approach and FDTD <i>Y. Altuncu, F. Akleman, Ö. Özdemir,</i>
09:00 Coupling and Losses in Metamaterials <i>H. Giessen, T. Zentgraf, N. Liu, H. Guo, H. Schweizer, T. Meyrath, L. Fu,</i>	08:40 A Simple Regularization Scheme for Imaging Homogeneous Targets Buried under a Rough Interface <i>I. Catapano, L. Crocco, T. Isernia,</i>
09:20 Magnetic Metamaterials towards Optical Frequencies <i>M. Kafesaki, Th. Koschny, E. N. Economou, C. M. Soukoulis,</i>	09:00 An Analytical Continuation Method for the Reconstruction of Dielectric or Perfectly Conducting Rough Surface Profiles <i>I. Akduman, A. Yapar,</i>
09:40 Equivalent Permittivity and Permeability of Photonic Crystals in the Resonance Domain <i>R. Pierre, B. Gralak, T. Decoopma, G. Tayeb, S. Enoch, D. Maystre,</i>	09:20 A Semi-rigorous Method for Scattering from 2D Rough Heterogeneous Surfaces <i>P. Mallet, J. P. Segaud, C. A. Guérin, A. Sentenac,</i>
10:00 <b>Coffee Break</b>	09:40 Surface Impedance Modelling of Perfectly Conducting Rough Surface <i>Ö. Özdemir, Y. Altuncu, H. Şahintürk, B. Aslanyürek,</i>
10:20 Manufacturing and Characterisation of Electromagnetic Metamaterials from the Far to the Near Infrared <i>H. O. Moser, B. D. F. Casse, M. Bahou, Ao Chen, P. D. Gu, L. K. Jian, Shahrain bin Mahmood, Li Wen,</i>	10:00 <b>Coffee Break</b>
10:40 Strongly Coupled Electro-optic Superlattices and the Potential as Metamaterials <i>Yalin Lu, Dajani Iyad, R. J. Knize,</i>	10:20 Bistatic Scattering from Three-dimensional Conducting Rough Surface with UV Multilevel Partitioning Method <i>Zhong-Xin Li,</i>
11:00 On a Meta-Meta-Material — A bottom-up Approach for Magnetic Resonances in the Visible <i>C. Rockstuhl, F. Lederer, T. Scharf,</i>	10:40 Scattering from a Dielectric Coating Having Variable Thickness <i>E. Tetik, Y. Altuncu, Ö. Özdemir,</i>
11:20 Three-dimensional Metamaterials of Ionic, Metallic and Semiconductor Particles for Near-infrared and Optical Frequencies <i>V. Yannopapas,</i>	11:00 Complex Signal Theory in Electromagnetics: First Analysis, Some Results and Future Challenges <i>Emilio Gago-Ribas, María J. González Morales, Carlos Dehesa Martínez, Raul Mahillo Isla, Francisco Varona de Miguel,</i>
	11:20 Reconstruction of Perfectly Conducting Rough Surfaces Beyond a Layered Media <i>Onur Mudanyalı, Selda Yıldız, Oguz Semerci,</i>
	11:40 A New Approach for the Scattering of Electromagnetic Waves from Dielectric Bodies of Arbitrary Shape <i>Mehmet Cayoren, Birol Aslanyurek,</i>

---

**Session 3A3**  
**Optics and Photonics, Gyrotrons, THz**  
**Technology**

---

**Wednesday AM, March 28, 2007**

**Room A (Zhongyuan)**

Organized by Jianguo Xin

Chaired by Jianguo Xin, Yi Luo

---

- 08:00 The Classical Structure Model of Single Photon and Classical Point of View with Regard to Wave-particle Duality of Photon  
*Donglin Zu,*
- 08:20 Longitudinal Power Distribution and Corresponding Temperature Distribution in a RF Waveguide CO<sub>2</sub> Laser  
*A. Rauf, Bingxin Zhang, Jianguo Xin,*
- 08:40 Optical Near-field Microscopy Using FDTD Method  
*B. Zakeri, S. Golmohammadi Heris,*
- 09:00 Lasing Dynamics of a Novel Silicon Photonic Crystal Cavity  
*Shouyuan Shi, Dennis W. Prather,*
- 09:20 Using Intrinsic Layer to Improve the Efficiency of Organic Solar Cells  
*Wei Ping Chu, Yu Sheng Tsai, Fuh Shyang Juang, Tao Sheng Li, Chang Han Chung,*
- 09:40 Effects of Nitridation Time on Top-emission Inverted Organic Light Emitting Diode  
*Chien-Chang Tseng, Liang-Wen Ji, Yu-Sheng Tsai, Fuh-Shyang Juang,*
- 10:00 **Coffee Break**
- 10:20 Monte Carlo Simulation of Phosphor-screened Ultraviolet Light in a White Light-emitting Diode  
*Chien-Cheng Chang, Chien-Chung Chang, Ruey-Lin Chern,*
- 10:40 Effects of Isolation-layer on Luminance Efficiency of Organic Light-emitting Diodes  
*Chang-Han Chung, To-Sing Li, Fuh-Shyang Juang, Day-Shan Liu,*
- 11:00 Beam Propagation in Laser Scattering Communication  
*Ying Yan, Jianguo Xin,*
- 11:20 Entanglement Theory and a  $q$  Analogue Entangled State  
*Huihui Zhang, A. Rauf, Xiaoguang Zhou,*

- 11:40 Influence of Electro-optic Effect on Wave-guide Efficiency of Optical Fiber with Cladding Made of Uniaxial Crystal Materials  
*Shanglin Hou, Chunlian Hu,*

---

**Session 3A4**  
**Novel Mathematical Methods in**  
**Electromagnetics**

---

**Wednesday AM, March 28, 2007**

**Room D (Zhongyuan)**

Organized by Yury Shestopalov, Kazuya Kobayashi

Chaired by Yury Shestopalov, Kazuya Kobayashi

---

- 08:00 Electromagnetic Modeling of the Origin of the Rings of Saturn  
*Vladimir V. Tchernyi,*
- 08:20 Determination of Permittivity of a Lossy Dielectric Inclusion in a Rectangular Waveguide  
*Y. V. Shestopalov, V. V. Yakovlev,*
- 08:40 A New Iterative Method for Low-frequency 3-D Electromagnetic Scattering on Dielectric Bodies  
*N. V. Budko, A. B. Samokhin, K. Kobayashi,*
- 09:00 Development of the Method of Approximate Decomposition for the Solution of Boundary Value Problems for Elliptic Systems in Three-dimensional Case  
*Y. Shestopalov, N. Kotik,*
- 09:20 Diffraction by a Kerr-type Nonlinear Dielectric Layer  
*Yu. V. Shestopalov, V. V. Yatsyk,*
- 09:40 Scattering of Electromagnetic Waves by Multilayered Inhomogeneous Columnar Dielectric Gratings Loaded Rectangular Dielectric Constant  
*Tsuneki Yamasaki, Ryosuke Ozaki, Takashi Hinata,*
- 10:00 **Coffee Break**
- 10:20 Comparative RCS Study of Two Canonical, Parallel-plate Waveguide Cavities with Three-layer Material Loading  
*Kazuya Kobayashi, Shoichi Koshikawa,*
- 10:40 1D Canonical and Perturbed Quantum Potential-well Problem: A Universal Function Approach  
*I. Ahmed, A. R. Baghai-Wadji,*
- 11:00 On the Calculation of Polynomially Perturbed Harmonic Oscillators  
*P. Peidaee, A. R. Baghai-Wadji,*
- 11:20 On the Determination of Eigenpairs of 2D Positive Differential Operators with Periodic Boundary Conditions  
*A. Rezaee, A. R. Baghai-Wadji,*

<b>Session 3A5</b>		09:00	Very Low Power Single-ended Cross-coupled Oscillator in CMOS Technology <i>Jiho Ryu, Sangwook Nam,</i>
<b>Plasmonic Nanophotonics</b>		09:20	Cascade Feedback Amplifier Combined with Resonant Matching for UWB System <i>Pei-Zong Rao, Yuh-Chuan Cheng, Ching-Piau Liang, Shyh-Jong Chung,</i>
<b>Wednesday AM, March 28, 2007</b>		09:40	Compact Surface-mount Wideband and Multi-band Internal Chip Antenna for Mobile Handset <i>H. C. Choi, D. S. Shin, S. U. Park, H. D. Kim,</i>
<b>Room E (Jinyuan)</b>		10:00	<b>Coffee Break</b>
Organized by Din Ping Tsai, Chien-Cheng Chang		10:20	Broadband Internal Antenna for Mobile DTV Handsets <i>Seung-Gil Jeon, Dong-Hyun Seo, Yeon-Sik Yu, Jae-Hoon Choi,</i>
Chaired by Din Ping Tsai, Chien-Cheng Chang		10:40	A Compact Band-selective Filter and Antenna for UWB Application <i>Yohan Jang, Hoon Park, Sangwook Jung, Jae-hoon Choi,</i>
08:40	A Novel Eigenmode Analysis of the Plasmonic Modes in Metal Nanoparticle Periodic Arrays <i>K. H. Fung, C. T. Chan,</i>	11:00	Class E Amplifier for Wireless LAN with Digital Pre-distortion <i>Chan Hyuk Park, Kyung Heon Koo,</i>
09:00	A Theoretical Study of Particle Plasmons for Single and Multiple Metallic Nanospheres <i>Ruey-Lin Chern, Chih-Yu Kuo, Chien-Cheng Chang,</i>	<b>Session 3A7</b>	
09:20	Spectrum Compression of a Short Pulse from a Central Obstructed Circular Aperture in the Far-field <i>Pin Han,</i>	<b>Microstrip Patch Antennas, Phased Arrays and Optical Beam Forming</b>	
09:40	Focusing Light with Sub-wavelength Aperture <i>K. R. Chen,</i>	<b>Wednesday AM, March 28, 2007</b>	
10:00	<b>Coffee Break</b>	<b>Room G (Hengyuan)</b>	
10:20	Computational Model of Electromagnetic Propagation through Nanowire with Applications in Nanophotonic Devices <i>Erping Li, Hong-San Chu, R. Vahldieck,</i>	Organized by Baidyanath N. Biswas	
10:40	Optimization of the Coupling of the Surface Plasmon Re-emitted from Silver Nanorods <i>Sheng Chung Chen, Zheng Yu Lin, Dong Lin Li, Huai Yi Xie, Jun You Iv, Kuo Pin Chiu, Din Ping Tsai,</i>	Chaired by Baidyanath N. Biswas, Subal Kar	
11:00	Manipulating Tunneling Frequencies by Magnetic Fields for Resonant Tunneling Effects of Surface Plasmon Polaritons <i>Yung-Chiang Lan,</i>	08:20	Decreasing of Mutual Coupling in Array Antennas by Using Fractal Elements <i>Naser Yousefzadeh, Changiz Ghobadi,</i>
<b>Session 3A6</b>		08:40	Optical Generation of mm-Wave Signal with Wide Linewidth Lasers for Broadband Communications <i>B. N. Biswas,</i>
<b>Wireless Communication Component</b>		09:00	Characterization of a Self-complementary Sierpinski Gasket Microstrip Antenna <i>B. N. Biswas, Rowdra Ghatak, Rabindra K. Mishra, Dipak R. Poddar,</i>
<b>Wednesday AM, March 28, 2007</b>		09:20	Characteristics Study of Four Coplanar Waveguide Feeding Devices <i>Wenwen Chai, Xiaojuan Zhang, Jibang Liu,</i>
<b>Room F (Xiuyuan)</b>		09:40	Broadband Microstrip Patch Antenna Fed by a Novel Coupling Device <i>Wenwen Chai, Xiaojuan Zhang, Jibang Liu,</i>
Organized by Chulhun Seo		10:00	<b>Coffee Break</b>
Chaired by Chulhun Seo, Hyeong Dong Kim			
08:40	Improvement of PAE in Doherty Amplifier Using Dual Bias Control and PBG Structure <i>Hyoungjun Kim, Chulhun Seo,</i>		

- 10:20 A Novel Wideband Antenna Design Using U-slot  
*Wenwen Chai, Xiaojuan Zhang, Jibang Liu,*
- 10:40 Couple-fed Circular Polarization Bow Tie Microstrip Antenna  
*Huan-Cheng Lien, Yung-Cheng Lee, Huei-Chiou Tsai,*
- 11:00 Lightwave Technique of mm-Wave Generation for Broadband Mobile Communication  
*B. N. Biswas, A. Banerjee, A. Mukherjee, S. Kar,*
- 11:20 Investigate Rectangular Slot Antenna with L-shaped Strip  
*G. Khunead, J. Nakasuwan, N. Songthanapitak, N. Anantrasirichai,*
- 15:40 Photonic Crystals in Diamond for Quantum Information Technology  
*Joseph Salzman,*
- 16:00 Novel Inorganic Compound Glasses for Photonic Crystal and Bandgap Structures  
*D. Furniss, A. B. Seddon,*
- 16:20 Thermal Radiation from Chiral Layer-by-layer Photonic Crystal Structures  
*Jeffrey Chi Wai Lee, C. T. Chan,*
- 16:40 Anomalous Properties of the Band-edge States in Large-sized Two-dimensional Photonic and Phononic Quasicrystals  
*Y. Lai, Z. Q. Zhang, C. H. Chan, L. Tsang,*

**Session 3P1****Novel Materials and Methods in Photonic Crystals**

Wednesday PM, March 28, 2007

**Room E (Jinyuan)**

Organized by Snjezana Tomljenovic-Hanic

Chaired by Snjezana Tomljenovic-Hanic, Christian Grillet

- 13:00 Microassembly of Rod-connected Diamond Structures at Optical Wavelengths  
*K. Aoki, S. Iwamoto, Y. Arakawa,*
- 13:20 Design of high-Q Cavities in Photosensitive Material-based Photonic Crystal Slab Heterostructures  
*S. Tomljenovic-Hanic, C. M. de Sterke, M. J. Steel, D. J. Moss,*
- 13:40 A Macrocell Approach for the Analysis of 2D Photonic Crystals Devices  
*L. Crocco, F. Cuomo, T. Isernia,*
- 14:00 Surface Waves in Photonic Crystals  
*M. Kafesaki, S. Foteinopoulou, T. Koschny, E. N. Economou, C. M. Soukoulis,*
- 14:20 Tunable Photonic Crystal Based on SOI  
*Caihua Chen, Binglin Miao, Dennis W. Prather,*
- 14:40 Optical Properties of Mesoscopic Systems of Coupled Microspheres  
*V. N. Astratov, S. P. Ashili, A. M. Kapitonov,*
- 15:00 **Coffee Break**
- 15:20 2D Photonic Crystals in Chalcogenide Glass  
*Cameron Smith, Christian Grillet, Eric C. Mägi, Yinlan Ruan, Darren Freeman, Barry Luther-Davies, Steve Madden, Andrei Rode, Snjezana Tomljenovic-Hanic, David Moss, Benjamin J. Eggleton,*

- 17:00 Broadband Slow Light and Nonlinear Switching Devices  
*G. Böttger, J.-M. Brosi, A. Maitra, J. Wang, A. Y. Petrov, M. Eich, J. Leuthold, W. Freude,*

**Session 3P2****Advanced Inverse Scattering Techniques for Non-invasive Diagnostics Applications**

Wednesday PM, March 28, 2007

**Room F (Xiuyuan)**

Organized by Lorenzo Crocco, Ibrahim Akduman

Chaired by Lorenzo Crocco, Ibrahim Akduman

- 13:00 Dealing with Aspect-limited Data through an Innovative Microwave Imaging Multi-source Technique — Potentialities and Limitations  
*D. Franceschini, M. Benedetti, M. Donelli, P. Rocca, A. Massa,*
- 13:20 Closed Approximation for one Dimensional Scattering of an Inhomogeneous Anisotropic Medium in Time-domain and its Inverse Scattering Solution  
*L.-L. Li, F. Li,*
- 13:40 Permittivity Variation Reconstruction in Longitudinally Inhomogeneous Dielectric Loaded Waveguides  
*F. Akleman, A. Yapar,*
- 14:00 Testing the Iterative Multiscaling Method against Experimental Data — On the Effects of the Electromagnetic Source Modeling in the Reconstruction Process  
*D. Franceschini, M. Donelli, G. Franceschini, P. Rocca, A. Massa,*
- 14:20 The Singular Sources Method — A Non-iterative Scheme for Medium Reconstructions  
*R. W. E. Potthast,*

- 14:40 A 'No-sampling' Implementation of the Linear Sampling Method  
*R. Aramini, M. Brignone, M. Piana,*
- 15:00 **Coffee Break**
- 15:20 Time-domain Microwave Tomography for Breast Cancer Detection  
*Toshiyuki Tanaka, Jessi Johnson, Shoichi Saruwatari, Takashi Takenaka,*
- 15:40 Optimized Design of Microwave Tomography Techniques for Breast Cancer Detection  
*I. Catapano, L. Crocco, M. D'Urso, A. Morabito, T. Isernia,*
- 16:00 A Non-invasive Electromagnetic Diagnostic Technique Based on Neural Networks  
*S. Caorsi, G. Cevini,*
- 16:20 A New Algorithm for the Shape Reconstruction of Perfectly Conducting Objects  
*Mehmet Cayoren, Ibrahim Akduman, Ali Yapar, Lorenzo Crocco,*
- 16:40 Recent Advances in the Iterative Multizooming Reconstruction of Nonmeasurable Equivalent Current Densities for Non-invasive Diagnostic Applications  
*P. Rocca, D. Franceschini, M. Donelli, A. Massa, G. L. Gragnani,*
- 17:00 Terrain Classification and Pure Target Detection Based on Entropy/Eigenvector Decomposition in Imaging Radar Polarimetry  
*B. Zakeri, A. Ghorbani, Michele Galletti,*
- 
- Session 3P3**  
**Adaptive, Multifrequency and Wideband Antennas for Wireless Systems**  
**Wednesday PM, March 28, 2007**  
**Room G (Hengyuan)**  
Organized by Dariush Mirshekar-Syahkal, Amit Mehta  
Chaired by Dariush Mirshekar-Syahkal, Amit Mehta
- 
- 13:00 Making Quarter Wavelength Notch Antennas Wideband  
*P. J. Massey, K. R. Boyle, A. J. M. de Graauw, M. Udink, D. L. Raynes,*
- 13:20 Folded Loop Antenna and Folded Dipole Antenna with Wideband Characteristics  
*S. Tanaka, H. Morishita,*
- 13:40 A Frequency Notched Inverted-trapezoid UWB Antenna  
*Min Ding, Ronghong Jin, Junping Geng,*
- 14:00 On the Design of Multipole Band-notched UWB Planar Monopole Antennas with Good Frequency Selectivity  
*Ren-Ching Hua, Chin-Feng Chou, Tzyh-Ghuang Ma,*
- 14:20 Radiation Characteristic of Tapered Slot Antenna with Some Configuration and Feeding System  
*Akinori Matsui,*
- 14:40 The Design of an UWB Antenna with Notch Characteristic  
*Jaehoon Choi, Seokjin Hong, Uisheon Kim,*
- 15:00 **Coffee Break**
- 15:20 Development of an Omnidirectional and Low-VSWR Ultra Wideband Antenna  
*A. Maeda, T. Kobayashi,*
- 15:40 CPW-fed Ultra Wideband Printed Monopole Antennas with Tapered Ground Plane  
*Wei Wang, Xian-Ling Liang, Shun-Shi Zhong,*
- 16:00 Adaptive Wideband Beamforming with Combined Spatial/Temporal Subband Decomposition  
*Wei Liu, Richard Langley,*
- 16:20 Rectangular S Antenna and Its Implementation for Beam Adaptive Applications  
*A. Mehta, D. Mirshekar-Syahkal,*
- 16:40 Overview and Development of HIS Based Low Profile Spiral Antenna for Beam Adaptive Applications  
*A. Mehta, D. Mirshekar-Syahkal, H. Nakano, A. Sanada,*
- 17:00 Small Loop and Helical Antennas for Mobile Systems  
*Wee Sang Park,*
- 17:20 Analysis of a Reconfigurable Radiation Leaky-wave Antenna with Integrated MEMS-based Structures  
*G. H. Huff,*
- 17:40 Wideband Traveling-wave Antennas for Base-station of Mobile Communications  
*Wei Shen, Wen-Xun Zhang,*
- 
- Session 3P4**  
**Plasmonics: Nanoscale, Ultrafast, Anisotropic, Nonlinear, and Active Phenomena**  
**Wednesday PM, March 28, 2007**  
**Room H (Boyuan)**  
Organized by David J. Bergman, Mark I. Stockman  
Chaired by David J. Bergman, Mark I. Stockman
-



- 13:00 Light Localization in Quasi-periodic Nano-photonics Carpets  
*N. I. Zheludev, F. M. Huang, Y. Chen, F. J. Garcia de Abajo,*
- 13:20 Dynamics of Surface Electromagnetic Modes in Nanohole Arrays  
*T. V. Shahbazyan, A. S. Kirakosyan, M. Tong, Z. V. Vardeny,*
- 13:40 Magnetic Plasmon Propagation along a Chain of Connected Subwavelength Resonators at Infrared Frequencies  
*H. Liu, D. A. Genov, D. M. Wu, Y. M. Liu, J. M. Steele, C. Sun, S. N. Zhu, X. Zhang,*
- 14:00 Optical Nanoantennas to Enhance Single-molecules and Solid-state Emitters  
*M. Agio, F. Kaminski, L. Rogobete, S. Kühn, U. Håkanson, G. Mori, V. Sandoghdar,*
- 14:20 Plasmonics — The Missing Link between Nanoelectronics and Microphotonics  
*Mark L. Brongersma, Rashid Zia, Jon Schuler,*
- 14:40 Sub-wavelength Energy Localization and Superfocusing throughout the Spectrum with Plasmonics  
*Stefan A. Maier, Steve R. Andrews, W. Ding, M. T. Burnett, Francisco García-Vidal, Luis Martín-Moreno,*
- 15:00 **Coffee Break**
- 15:20 Nanoscale Imaging and Ultrafast Processes in Plasmonic Heterostructures  
*G. P. Wiederrecht,*
- 15:40 Direct Observation of Negative Refraction at Visible Frequencies in Metal-insulator-metal Waveguide  
*H. J. Lezec, J. A. Dionne, H. A. Atwater,*
- 16:00 Photon Control by Plasmonic Metamaterials  
*T. Tanaka, S. Kawata,*
- 16:20 Nanoplasmonics: Generation and Control of Nanoscale Optical Fields  
*Mark I. Stockman, David J. Bergman,*
- 16:40 Active Plasmonic Materials and Devices  
*Harry A. Atwater, Henri J. Lezec, Albert Polman, Jennifer A. Dionne, Domenico Pacifici, Carrie M. Ross, Matthew J. Dicken, Julie S. Biteen, Hans J. Mertens, Ernst Jan Vesseur, Luke A. Sweatlock,*
- 17:00 Transmission of Light through Periodic and Quasi-periodic Arrays of Subwavelength Apertures  
*A. I. Fernández-Domínguez, Luis Martín-Moreno, Francisco J. Garcia-Vidal,*

- 17:20 Linear, Nonlinear and Ultrafast Behavior of Surface Plasmon Polaritons in Nanostructures  
*M. Sandtke, R. J. P. Engelen, J. Prangma, J. A. H. van Nieuwstadt, R. H. Harmsen, S. Enoch, L. Kuipers,*

---

**Session 3P5**  
**Electromagnetics in Lightning Research**

---

**Wednesday PM, March 28, 2007**

**Room I (Guangyuan)**

Organized by Marcos Rubinstein

Chaired by Marcos Rubinstein, Rajeev Thottappillil

---

- 13:20 Modeling Lightning Attachment to Tall Towers  
*Rajeev Thottappillil, Nelson Theethayi,*
- 13:40 Discussion on the Influence of the Time Derivative of the Current and the Charge Acceleration on the Radiation Fields from Lightning Channels  
*Marcos Rubinstein, Rajeev Thottappillil, Farhad Rachidi,*
- 14:00 Evaluation and Comparison of the Striking Distance and the Interception Distance Concepts for Lightning Protection  
*M. Vargas, H. Torres, V. Rakov,*
- 14:20 New Approaches to Model Lightning Radiated Fields When Considering Tortuous and Branched Channels  
*M. Vargas, J. Herrera, H. Torres,*
- 14:40 Equivalent Approaches for Computing Electromagnetic Fields from an Extending Lightning Discharge  
*Rajeev Thottappillil, Vladimir A. Rakov,*
- 15:00 **Coffee Break**
- 15:20 On the Determination of the Spatial-temporal Behavior of the Lightning Return Stroke Current by Multiple Field Measurements  
*D. Pavanello, M. Rubinstein, F. Rachidi,*
- 15:40 On the Need for Guidelines for the Reporting of Electromagnetic Field Measurements from Lightning  
*M. Rubinstein, D. Pavanello, F. Rachidi,*

---

**Session 3P6a**  
**Electromagnetic Scattering: Theory and Applications**

---

**Wednesday PM, March 28, 2007**

**Room J (Yingchun)**

Chaired by Hong-Tat Ewe, Evgeny Popov

---

- 13:20 Electromagnetic Scattering from an Arbitrarily Shaped Three-dimensional Inhomogeneous Bianisotropic Body  
*C. Mei, M. Hasanovic, J. K. Lee, E. Arvas,*
- 13:40 Numerical Analysis of a Virtual Optical Probe Based on Surface Plasmon Polariton  
*Jiying Xu, Jia Wang, Boxiong Wang,*
- 14:00 The  $T$ -matrix of the Homogeneous Anisotropic Sphere: Applications to Orientation Averaged Resonant Scattering  
*Brian Stout, Michel Nevière, Evgeny Popov,*
- 14:20 Directivity of Light Transmission through a Single Subwavelength Aperture without Plasmon Resonance  
*Evgeni Popov, Nicolas Bonod, Michel Nevière,*
- 14:40 Scattering by a Finite Strip Under Complex Beam Incidence—Asymptotic Evaluation in the Complex Space Domain  
*M.J. González-Morales, E. Gago-Ribas,*
- 15:00 **Coffee Break**

---

**Session 3P6b**

**EM Signatures for Natural and Man-made Objects**

**Wednesday PM, March 28, 2007**

**Room J (Yingchun)**

Organized by Xiaojian Xu, Hongcheng Yin

Chaired by Xiaojian Xu, Hongcheng Yin

---

- 15:20 Transient Scattering from Arbitrarily Shaped Two-dimensional Objects Located on a Rough Surface  
*Min Zhang, Hongcheng Yin, Zhen Cao,*
- 15:40 ISAR Image Modeling of Aircraft with Propeller Blades  
*Xiaojian Xu, Yao Qin,*
- 16:00 A High-frequency Hybrid Method to Calculate EM Scattering of a Three-plate Cavity  
*Kai Cui, Xiaojian Xu, Shiyi Mao,*
- 16:20 The MOM Solution Combining Hybrid Domain Bases and Wire-grid Model for Scattering by Complex Targets  
*Fangzhi Geng, Chunzhu Dong, Hongcheng Yin, Chuangming Tong,*
- 16:40 EM Scattering from Complex Targets above a Slightly Rough Surface  
*Chunzhu Dong, Chao Wang, Xiao Wei, Hongcheng Yin,*
- 17:00 A Hybrid FDTD/TD-PO Approach for Analysis of Small Radiating Source Close to Large PEC Object  
*Lingxia Yang, Debiao Ge, Xiaojuan Hu,*
- 17:20 Application of TF/SF Formulation and KSIR Near-to-far Field Extrapolation Technique in 3-D FDFD  
*Xiaojuan Hu, Debiao Ge, Lingxia Yang,*

---

**Session 4A1a**  
**Biophotonics and Plasmonics**

**Thursday AM, March 29, 2007**

**Room C (Zhongyuan)**

Organized by Muttukrishnan Rajarajan

Chaired by Muttukrishnan Rajarajan, Jiri Homola

---

- 08:00 Effects of Different Parameters on Attenuation Rates in Circular and Arch Tunnels  
*Kamran Arshad, Ferdinand Katsriku, Aboubaker Lasebae,*
- 08:20 Design and Characterization of Biophotonics Devices  
*M. Rajarajan, C. Themistos, B. M. A. Rahman, K. T. V. Grattan,*
- 08:40 Plasmonics in Metal-clad Terahertz Waveguides  
*Muttukrishnan Rajarajan, Christos Themistos, B. M. A. Rahman, Kenneth T V Grattan,*
- 09:00 Plasmonics: Controlled Sub-wavelength Confinement of Electromagnetic Radiation for Enhanced Spectroscopy and Sensing  
*Stefan A. Maier, M. T. Burnett, Steve R. Andrews, W. Ding, Francisco García-Vidal, Luis Martín-Moreno,*
- 09:20 Surface Plasmon Resonance Based Biosensors  
*J. Homola,*
- 09:40 Spectroscopic Properties of Arrays of Core-shell Au Nanorods  
*R. Atkinson, W. Hendren, G. Wurtz, P. Evans, W. Dickson, R. Pollard, A. V. Zayats,*
- 10:00 **Coffee Break**

---

**Session 4A1b**  
**Nanotechnology**

**Thursday AM, March 29, 2007**

**Room C (Zhongyuan)**

Chaired by Ari H. Sihvola

---

- |   |  |
|---|--|
| <p>10:20 Modeling of Carbon Nanotube Antennas<br/><i>A. Traille, M. M. Tentzeris,</i></p> <p>10:40 Numerical Simulation Analysis of an Optical Virtual Probe Based on Surface Plasmon Polaritonic Band-gap Structures<br/><i>Qingyan Wang, Jia Wang, Shulian Zhang,</i></p> <p>11:00 Hybrid Numerical Simulation of Electrostatic Force Microscopes Considering Charge Distribution<br/><i>U. B. Bala, M. Greiff, W. Mathis,</i></p> <p>11:20 Energetical Model Interpretation of Thermal Stability by Changing Direction of the Magnetization of Nano Magnetic Structure<br/><i>D. Bajalan,</i></p> <p>11:40 Innovation Use of Nano Technology in Magnetic Storage Devices<br/><i>Diyar Bajalan,</i></p> | <p>09:40 Modeling of 3D MCSEM and Sensitivity Analysis<br/><i>Zhanxiang He, Zhigang Wang, Gang Yu, Kurt Strack, Haiying Liu,</i></p> <p>10:00 <b>Coffee Break</b></p> <p>10:20 The Electromagnetic Responses of Under Seabed Layer and Inversion Method Study<br/><i>Z.-F. Zeng, L.-H. Wang, S.-T. Zheng, F.-S. Liu, Y.-M. Wang,</i></p> <p>10:40 Remote-control in Transient Electromagnetic System for Shallow Seafloor<br/><i>Y. Wang, J. Lin, G. H. Zhou, F. D. Zhou, C. S. Liu, H. Li,</i></p> <p>11:00 Modeling of Seabed Logging Data for a Sand-shale Reservoir<br/><i>Zhong Wang, Leiv -J. Gelius,</i></p> <p>11:20 Multi-component Processing of Sea Bed Logging Data<br/><i>L.-J. Gelius,</i></p> <p>11:40 Comparison of Antenna Types and Orientations for Detecting Hydrocarbon Layers in Seabed Logging<br/><i>S. E. Johnstad, H. Westerdahl, F. N. Kong, Z. Wang,</i></p> |
|---|--|

---

**Session 4A2**

**Low Frequency EM Wave Seabed Logging to Indicate the Existence of Hydrocarbon Layers**

1

---

**Thursday AM, March 29, 2007**

**Room B (Zhongyuan)**

Organized by F. N. Kong

Chaired by F. N. Kong, Leiv-J. Gelius

---

- 08:00 Characteristics of Scattered Fields from Hydrocarbon Layers in Seabed Logging  
*F. N. Kong, S. E. Johnstad, T. Roesten,*
- 08:20 Modeling the Response of a Seafloor Antenna in the Limits of Low Frequency and Shallow Water  
*L.-J. Gelius,*
- 08:40 Comparison of Different Finite-difference Schemes of Modeling Marine Controlled-Source Electromagnetic Fields for Hydrocarbon Exploration  
*Dagang Wu, Ji Chen, Ce Liu,*
- 09:00 The New Progress in Near-surface Seafloor Exploration by Transient Electromagnetic Method  
*Jun Lin, Changsheng Liu, Yan Wang, Fengdao Zhou, Hui Li,*
- 09:20 Study of the High Frequency Magnetotelluric Sounding for Prospecting the Deep and Periphery Mine by RRI Inversion  
*Jingtian Tang, Ye Wang, Xiao Xiao, Jifeng Zhang, Huakun Du, Caikun Gao,*

---

**Session 4A3**

**Dissipative Solitons 1**

---

**Thursday AM, March 29, 2007**

**Room A (Zhongyuan)**

Organized by Nail Akhmediev

Chaired by Nail Akhmediev, Philippe Grelu

---

- 08:00 Nonlinear Dynamics of Temporal Optical Soliton Molecules in Lasers  
*Ph. Grelu, M. Grapinet, J. M. Soto-Crespo, N. Akhmediev,*
- 08:20 Realization of a Cavity-soliton Laser Based on Broad-area Vertical-cavity Devices with Frequency-selective Feedback  
*T. Ackemann, Y. Tanguy, A. Scroggie, A. Yao, W. J. Firth, G.-L. Oppo, P. Paulau, A. V. Naumenko, N. A. Loiko, R. Jäger,*
- 08:40 Nonlocal Stabilization of Vortex Beams in a Self-focusing Atomic Vapor  
*M. Saffman, S. Skupin, W. Królikowski,*
- 09:00 Localized Structures as Spatial Hosts for Unstable Modes  
*A. Lampert, E. Meron,*
- 09:20 Pulse Dynamics in Mode-locked Lasers  
*S. T. Cundiff, J. K. Wahlstrand, J. Willits, R. P. Smith, C. R. Menyuk,*

- 09:40 Noise, Convection and Inhomogeneity for Controlling and Trapping Optical Dissipative Solitons  
*M. Taki,*
- 10:00 **Coffee Break**
- 10:20 Dynamics of a Semiconductor Laser with Two External Cavities  
*A. N. Pisarchik, F. R. Ruiz-Oliveras,*
- 10:40 Incoherent Writing and Erasure of Cavity Solitons in an Optically Pumped Vertical-cavity Semiconductor Optical Amplifier  
*S. Barbay, Y. Ménesquen, X. Hachair, L. Leroy, I. Sagnes, R. Kuszelewicz,*
- 11:00 Excitability Mediated by Localized Structures in Kerr Cavities  
*Damià Gomila, Adrian Jacobo, Manuel A. Matias, Pere Colet,*
- 11:20 Dissipative Structures in Metamaterial Optical Resonators  
*P. Tassin, P. Kockaert, N. Veretenov, G. Van der Sande, I. Veretennicoff, M. Thidi,*
- 11:40 Stability of Dissipative Solitons as Solutions of Asymmetrical Complex Cubic-quintic Ginzburg-Landau Equation  
*V. Skarka, N. B. Aleksić, D. Gauthier, D. V. Timotijević,*
- 09:40 Design and Implementation of a Multilevel Fast Multipole Algorithm by combining Python, SciPy, C++ and Fortran  
*Idesbald van den Bosch, Marc Acheroy, Jean-Paul Marcel,*
- 10:00 **Coffee Break**
- 10:20 Comparing the Multipole Series and Inhomogeneous Plane-wave Approaches in Broadband MLFMA  
*J. Sarvas,*
- 10:40 Efficient Preconditioning Strategies for the Multilevel Fast Multipole Algorithm  
*Levent Gürel, Tahir Malas, Özgür Ergül,*
- 11:00 The Edge Finite Element Method for Magnetic Fields Excited by Artificial Source in Frequency Domain  
*Zhifeng Xu, Baiyao Ruan,*
- 11:20 The Distributions of Electromagnetic Fields Excited by Magnetic Dipole on Ragged Surface  
*Baiyao Ruan, Zhifeng Xu,*

---

**Session 4A5**
**Electromagnetic and Seismic and Flow Field Imaging in the Geophysical and Environment Sciences and Engineering**


---

**Thursday AM, March 29, 2007**
**Room E (Jinyuan)**

Organized by Ganquan Xie, Michael Oristaglio

 Chaired by Ganquan Xie, Michael Oristaglio
 

---



---

**Session 4A4**
**Integral Equations and Fast Solvers**


---

**Thursday AM, March 29, 2007**
**Room D (Zhongyuan)**

Organized by Levent Gurel

 Chaired by Levent Gurel, Jukka O. Sarvas
 

---

- 08:20 A Matrix-friendly Formulation of Layered Medium Green's Function  
*W. C. Chew, J. L. Xiong, M. A. Saville,*
- 08:40 Numerical Study of the Green's Function Approximation Using Radial Basis Function Interpolations  
*Hao Gang Wang, Chi Hou Chan,*
- 09:00 Improved Interpolation of Evanescent Plane Waves for Fast Multipole Methods  
*Henrik Wallén,*
- 09:20 Searching for Electrostatic Resonances in Metamaterials Using Surface Integral Equation Approach  
*A. Sihvola, P. Ylä-Oijala, S. Järvenpää, M. Taskinen,*
- 08:20 A 3D-2D AGILD EM Modeling and Inversion Imaging  
*J. Li, G. Xie, M. Oristaglio, L. Xie, F. Xie,*
- 08:40 Porous Medium Magneto-hydro-dynamics and Its Inverse Problem  
*Zi Guo, Youzhong Guo,*
- 09:00 Application of CSAMT Method for Exploring Coal Mine in Fujian Province, Southeastern China  
*Zhiguo An, Qingyun Di,*
- 09:20 Study of Bubble Size Distribution for Breaking Wave Propagates over a Submerged Dike  
*Tsung-Mo Tien, Chien-Hsun Lee, Ching-Jer Huang,*
- 09:40 Mixed Finite Element of Viscoelastic Fluid Flow  
*Hongwei Zhang, Haitao Cai, Yinghao Cai,*
- 10:00 **Coffee Break**
- 10:20 Least-squares Mixed Finite Element of Steady State Viscoelastic Fluid Flow  
*Yinghao Cai, Hongwei Zhang, Haitao Cai,*

- 10:40 Frequency Response of Tri-axial Induction Logging Tool  
*Jing Li, Xuesheng Yu, Lili Zhong, Richard C. Liu,*
- 11:00 Simultaneous Measurement of Capillary Pressure and Dielectric Constant in Porous Media  
*W. J. Plug, L. M. Moreno, J. Bruining, E. C. Slob,*
- 11:20 Numerical Simulation for the Effective Conductivity of Composite Medium in High Frequency  
*D. K. Yang, X. Y. Hu, S. Y. Zhang, M. Dai,*

---

**Session 4A6**

**High Speed I/O Signal and Power Integrity Analysis**

**Thursday AM, March 29, 2007**

**Room F (Xiuyuan)**

Organized by Christopher Pan

Chaired by Christopher Pan

---

- 08:00 Stitching a Reference Plane Split Using Routing Layer Traces to Improve I/O Bus Signal Integrity  
*Helen K. Pan, Christopher Y. Pan,*
- 08:20 Effective Signal Integrity and Power Integrity Co-analysis: An Enhanced Simulation Flow for DDRII System  
*Wenjie Mao, Xin Wu,*
- 08:40 Joint SI and PI Analysis for DDJ Prediction  
*Leo Li,*
- 09:00 PG Design Expert: A CAD Tool for On-die Power Grid Verification and Optimization  
*Junyong Deng, Cheng Zhuo, Jianghua Qian, Wenjie Mao, Xin Wu, Jinfang Zhou, Kangsheng Chen,*
- 09:20 Fast In-package Decoupling Capacitance Allocation Using a Transmission Matrix Method  
*Yinjun Wang, Cheng Zhuo, Junyong Deng, Wenjie Mao, Xin Wu, Jinfang Zhou, Kangsheng Chen,*
- 09:40 Fast Power Integrity Analysis Using Improved Algebraic Multigrid Method with Error Control  
*Cheng Zhuo, Junyong Deng, Wenjie Mao, Xin Wu, Jinfang Zhou, Kangsheng Chen,*
- 10:00 **Coffee Break**

---

**Session 4A7**

**Electromagnetic and Optical Wave Technologies for Communications and Sensing**

**Thursday AM, March 29, 2007**

**Room G (Hengyuan)**

Organized by Yasumitsu Miyazaki, Manabu Kagami

Chaired by Yasumitsu Miyazaki, Manabu Kagami

---

- 08:00 Signal Waveform Distortion on Terminatorless Transmission Line of UART-CSMA/CD Control Network  
*C. Ninagawa, K. Yokohama, F. Aoi, Y. Miyazaki,*
- 08:20 Analysis of Metal-clad Planar Waveguide with Corrugated Long-period Gratings  
*Florence Y. M. Chan, K. Yasumoto,*
- 08:40 Input Impedances and Current Distributions for Meander Line Antennas with Planar Coupled Parasitic Meander Element  
*K. Taki, Y. Miyazaki,*
- 09:00 Conceptual Design of A High Resolution, Low Cost X-Band Airborne Synthetic Aperture Radar System  
*Y. K. Chan, V. C. Koo, T. S. Lim,*
- 09:20 A Real-time Hybrid Correlator for Synthetic Aperture Radar Signal Processing  
*V. C. Koo, Y. K. Chan, T. S. Lim,*
- 09:40 Analysis of Electromagnetic Wave Propagation in Out-door Active RFID System Using FD-TD Method  
*Tadahiyo Masuda, Yasumitsu Miyazaki, Yoshitaka Kashiwagi,*
- 10:00 **Coffee Break**
- 10:20 Arbitrary Optical Waveform Generation Using Planar Lightwave Circuits  
*Lawrence R. Chen, Bing Xia,*
- 10:40 Investigation of Crosstalk Effects due to Optical Fiber Nonlinearities in WDM CATV Networks  
*Rakkappan Balasubramanian, Yasumitsu Miyazaki, Masayoshi Kondo,*
- 11:00 Code Recognition for Optical Time-series WDM Coded Label Using Acoustooptic Switch Array  
*Nobuo Goto, Yasumitsu Miyazaki,*
- 11:20 Spatial Filtering Characteristics of Transmitted and Scattered Nano-meter Electromagnetic Waves and X-rays in Bio-medical Media by Waveguide-type Grids  
*Yasumitsu Miyazaki,*
- 11:40 FDTD Computational Analysis of X-ray Transmission and Scattering Characteristics in Medical Imaging Diagnosis  
*Yasumitsu Miyazaki, Koichi Takahashi, Nobuo Goto,*

---

**Session 4P1**  
**Electromagnetics in Photonic Crystals**

---

**Thursday PM, March 29, 2007**

**Room C (Zhongyuan)**

Organized by David Cardimona

Chaired by David Cardimona, Danhong Huang

---

- 13:00 Photonic Band Gap Materials: Engineering the Fundamental Properties of Light  
*Sajeev John,*
- 13:20 Photonic Band Gap Materials: Engineering the Fundamental Properties of Light: Part II  
*Sajeev John,*
- 13:40 Photonic Quasi-crystals: A Review  
*Robert C. Gauthier,*
- 14:00 Photonic-crystal Lens Coupler Using Negative Refraction  
*Pi-Gang Luan, Kao-Der Chang,*
- 14:20 Photonic Crystals with Hexagonal Periodicity for Efficient Light Emission LED  
*Rafie Mavaddat, Dang Hoang Long, Sang-Wan Ryu,*
- 14:40 Numerical Study on Two-dimensional Magnetic Photonic Crystals Made of Magnetized Ferrites  
*Jie Xu, Ping Chen, Yue Shi, Xin-Yi Ji, Ai-Min Jiang, Rui-Xin Wu,*
- 15:00 **Coffee Break**
- 15:20 Electrically Tunable 2-D Organic Photonic Crystal Lasers  
*Rachel Jakubiak, Timothy J. Bunning, Richard A. Vaia, Pamela Lloyd, Vincent P. Tondiglia, Lalgudi V. Natarajan, Richard L. Sutherland,*
- 15:40 2D Nonlinear Photonic Crystals Nanocavities in Chalcogenide for All-optical Processing  
*Christian Grillet, Cameron Smith, Snjezana Tomljenovic-Hanic, Eric C. Mägi, Yinlan Ruan, Darren Freeman, Barry Luther-Davies, Steve Madden, Andrei Rode, M. Lee, David Moss, Benjamin J. Eggleton,*
- 16:00 Silicon-based and Ge-based Photonic Crystals  
*P. Boucaud, M. El Kurdi, X. Li, X. Checoury, S. David, S. Sawage, G. Fishman, F. Fossard, N. Yam, D. Bouchier, J.-M. Fédéli, O. Kermaec, Y. Campidelli, D. Bensahel,*

- 16:20 Second-order Nonlinear Processes in Planar Photonic Crystal Microcavities  
*Murray W. McCutcheon, Georg W. Rieger, Jeff F. Young, Dan Dalacu, Simon Frédérick, Philip J. Poole, Geof C. Aers, Robin L. Williams,*
- 16:40 Observation of Whispering Gallery Resonances in Circular and Elliptical Semiconductor Pillar Microcavities  
*V. N. Astratov, S. Yang, S. Lam, D. Sanvitto, A. Tahraoui, D. M. Whittaker, A. M. Fox, M. S. Skolnick,*
- 17:00 Electromagnetically Induced Transparency in Photonic Crystal Cavities  
*Paul M. Alsing, D. A. Cardimona, Dan H. Huang,*
- 17:20 Design of Photonic Crystal Resonant Cavity Using Overmoded Dielectric Photonic Band Gap Structures  
*Limei Qi, Ziqiang Yang, Zheng Liang, Wenxin Liu, Yu Liu, Xi Gao,*
- 17:40 Finite Element Analysis of Photon Density of States for Two-dimensional Photonic Crystals with In-plane Light Propagation  
*M. C. Lin, R. F. Jao,*
- 18:00 Spontaneous Emission of a Two-level Atom in Photonic Crystals  
*Shi-Yao Zhu, J. P. Xu, N. H. Liu,*

---

**Session 4P2a**

**Low Frequency EM Wave Seabed Logging to Indicate the Existence of Hydrocarbon Layers**  
**2**

---

**Thursday PM, March 29, 2007**

**Room B (Zhongyuan)**

Organized by F. N. Kong

Chaired by F. N. Kong, Leiv-J. Gelius

---

- 13:00 Combined Depth Migration and Constrained Inversion of Low Frequency Electromagnetic Data  
*Rune Mittet, Frank Maaø, Odd M. Aakervik, Svein Ellingsrud,*
- 13:20 Study on Work Parameters of Seafloor Towed Survey Using Transient Electromagnetic Systems  
*Fengdao Zhou, Changsheng Liu, Jun Lin, Yan Wang, Hui Li,*
- 13:40 3D Modeling of the Marine CSEM Method Based on the Fast Integral Equation Solver  
*Ali Moradi Tehrani, Evert Slob,*

- 14:00 TDEM by FDEM  
*Wim A. Mulder, Evert C. Slob,*
- 14:20 Green's Function Retrieval by Crossconvolutions  
*Evert Slob,*
- 14:40 The Study of Pseudo-random Multi-frequency IP Method of Exploring Seabed Hydrothermal Sulfide  
*Hua-Kun Du, Jing-Tian Tang,*
- 15:00 **Coffee Break**

---

**Session 4P2b**  
**New Applications of Radar for Non-destructive Testing**

**Thursday PM, March 29, 2007**  
**Room B (Zhongyuan)**

Organized by Lorenzo Capineri, Colin G. Windsor  
Chaired by Lorenzo Capineri, Colin G. Windsor

---

- 15:20 A Data Point-labelled Generalised Hough Transform for Extracting Reflections from Buried Objects in Ground Penetrating Radar Scans  
*C. G. Windsor, G. Borgioli, P. Falorni, L. Capineri, B. Morini, S. Matucci,*
- 15:40 Solving Electromagnetic Inverse Scattering Problems by SVRMs: a Case of Study Towards Georadar Applications  
*G. Angiulli, V. Barrile, M. Cacciola,*
- 16:00 A Ground-wave Technique for Pavement Permittivity and Thickness Estimation from GPR Data  
*Jing Li, Huichun Xing, Ying Wang, Chienping Kao, Richard Liu,*
- 16:20 Comparison between Impulse and Holographic Sub-surface Radar for NDT of Space Vehicle Structural Materials  
*S. I. Ivashov, I. A. Vasiliev, T. D. Bechtel, C. Snapp,*
- 16:40 Analysis of Time Domain Ultra-Wide-Band Radar Signals Reflected by Buried Objects  
*P. Falorni, L. Capineri, L. Masotti, C. G. Windsor,*
- 17:00 Analysis of Independent Components to Reduce Noise Impact in Ground Penetrating Radar Measurements  
*V. Barrile, M. Cacciola, F. C. Morabito,*

---

**Session 4P3**  
**Dissipative Solitons 2**

**Thursday PM, March 29, 2007**

**Room A (Zhongyuan)**

Organized by Nail Akhmediev  
Chaired by Nail Akhmediev, Philippe Grelu

---

- 13:00 Bifurcations of Double Bullet Complexes in Dissipative Systems  
*N. Akhmediev, J. M. Soto-Crespo,*
- 13:20 Modelling Dissipative Solitons in Electrical Transport Systems  
*Hans-Georg Purwins,*
- 13:40 Interaction of Solitary Waves Governed by a Controlled Subcritical Ginzburg-Landau Equation  
*Y. Kanevsky, A. A. Nepomnyashchy,*
- 14:00 Chirped Self-similar Pulse Propagation in Cubic-quintic Media  
*K. Senthilnathan, Li Qian, P. K. A. Wai, K. Nakkeeran,*
- 14:20 Multi-wavelength Solitary Waves in Fiber Ring Laser  
*Jin U. Kang,*
- 14:40 Using Gradients to Control Cavity Solitons  
*F. Pedaci, P. Genevet, E. Caboche, S. Barland, M. Giudici, J. R. Tredicce,*
- 15:00 **Coffee Break**
- 15:20 Towards a Cavity Soliton Semiconductor Laser  
*L. A. Lugiato, G. Tissoni, F. Prati, P. Caccia, M. Brambilla, M. Bache, R. Kheradmand, K. Aghdami,*
- 15:40 Dynamics of Optical Similariton Solutions of the Amplified Nonlinear Schrödinger Equation  
*S. Wabnitz,*
- 16:00 Spatial Solitons in Cryogenic Semiconductor Resonators  
*C. O. Weiss, Y. Larionova,*
- 16:20 Solitons in Metamaterials with Three Level Atoms  
*I. R. Gabitov, A. I. Maimistov, J. B. McMahon,*
- 16:40 Soliton Interaction and Bound States in a System with Spectral Filtering and Nonlinear Gain  
*Mário F. S. Ferreira, Sofia C. V. Lataş,*

---

**Session 4P4**  
**Computational Electromagnetics**

---

**Thursday PM, March 29, 2007**

**Room D (Zhongyuan)**

Organized by Xiao-Bang Xu

Chaired by Xiao-Bang Xu, Xing Chen

---

- 13:00 Simulation of Electromagnetic Pulse Propagation through Dielectric Slabs with Finite Conductivity Using Characteristic-based Method  
*Mingsu Ho,*
- 13:20 Broadband PLC Radiation from a Power Line with Sag  
*Nan Maung, Xiao-Bang Xu,*
- 13:40 A Novel Broadband Quasi-fractal Binary Tree Dipole  
*Xing Chen,*
- 14:00 Hybrid Nystrom-PO Method for 3D EM Scattering and Its Application  
*Shuguang Liu, Xiaojuan Zhang,*
- 14:20 A Novel Mesh-free Method for Electromagnetic Scattering from a Wire Structure  
*Min Zhang, Lingxia Li, Ping Zhou, Xiangyang Zhang,*
- 14:40 Evaluating Surface Impedance Models for Terahertz Frequencies at Room Temperature  
*S. Lucyszyn,*
- 15:00 **Coffee Break**
- 15:20 Reduction of Monostatic RCS by Switchable FSS Elements  
*M. Khosravi, M. S. Abrishamian,*
- 15:40 A General and Efficient Parallel Approach of the Hybrid FE/BI/MLFMA  
*Xiao-Min Pan, Xin-Qing Sheng,*
- 16:00 Parallel FDTD Computation of Scattering by Buried Objects  
*X. Y. Zhang, X. Q. Sheng,*
- 16:20 Finite-difference Time-domain Grid Truncation with Squeeze-transform Layers  
*D. M. Shyroki,*
- 16:40 Full-vector Body-of-revolution Modeling with Two-dimensional Cartesian-grid-based Algorithms  
*D. M. Shyroki,*
- 17:00 Fast Solution of Scattering from Conducting Structures by Local MLFMA Based on Improved Electric Field Integral Equation  
*Jun Hu, Zaiping Nie, Lin Lei, Huapeng Zhao, Jun Wang,*

- 17:20 On the Single Integral Equation for Homogeneous Dielectric Objects  
*Chu-Qiang Deng, Xin-Qing Sheng,*

---

**Session 4P5a**  
**MRI Electromagnetics**

---

**Thursday PM, March 29, 2007**

**Room E (Jinyuan)**

Organized by Donglin Zu

Chaired by Donglin Zu, Xin Tang

---

- 13:00 Shimming Permanent Magnet of MRI Scanner  
*Liming Hong, Donglin Zu,*
- 13:20 Research on Target-field Method for Designing Gradient Coil in Permanent-magnet MRI System  
*Wentao Liu, Donglin Zu,*
- 13:40 A New Target Field Method for Optimizing Longitudinal Gradient Coils' Property  
*Feng Qi, Xin Tang, Zhe Jin, Le Wang, Donglin Zu, Weimin Wang,*
- 14:00 A New Method for Shimming a Magnetic Field in NMR System  
*Zhe Jin, Xin Tang, Feng Qi, Donglin Zu, Weimin Wang,*
- 14:20 A New Eddy-current Compensation Method in MRI  
*C. Ma, X. H. Jiang,*
- 14:40 Calculating Efficient Noise Resistance of RF Coils for Low Field MRI Systems  
*Y. Li, X. H. Jiang,*
- 15:00 **Coffee Break**

---

**Session 4P5b**  
**Medical Electromagnetics and Biological Effects**

---

**Thursday PM, March 29, 2007**

**Room E (Jinyuan)**

Chaired by Nam Kim, Suryanarayana raju  
Gottumukkala

---

- 15:20 Some Studies on Electromagnetic Waves through Bio-tissues  
*G. Narmada Devi, Rajesh Kucharlapati, G. S. N. Raju,*



- 15:40 On the Radio-frequency Power Requirements of Human MRI  
*L. Tang, T. S. Ibrahim,*
- 16:00 Effects of Mobile Phone Radiation on Expression Profiling of Proteins, Cell Cycle, and Cellular Invasion and Migration  
*Ki-Bum Kim, Joong-Won Lee, Yun-Mi Lee, Hee-Jin Kwak, Myung-Jin Park, Jeong-Ki Pack, Nam Kim, Hyung-Do Choi, Jae-Seon Lee,*
- 16:20 Comparison of Maximum Induced Current and Electric Field from Transcranial Direct Current and Magnetic Stimulations of a Human Head Model  
*Mai Lu, T. Thorlin, Shoogo Ueno, Mikael Persson,*
- 16:40 Magnetic Field Produced by Compound Action Potential of Degenerated Human Nerve  
*T. Hayami, K. Iramina,*

- 15:00 **Coffee Break**
- 15:20 Pad Modeling by Using Artificial Neural Network  
*Xiuping Li, Jianjun Gao,*
- 15:40 Parametric Models for Electromagnetic Field Systems Related to Passive Integrated Components  
*Daniel Ioan, Gabriela Ciuprina,*
- 16:00 Space Mapping and Neuro-space Mapping for Microwave Design  
*J. W. Bandler, Q. J. Zhang,*
- 16:20 Applications of Artificial Neural Network Techniques in Microwave Filter Modeling, Optimization and Design  
*H. Kabir, Y. Wang, M. Yu, Q. J. Zhang,*
- 16:40 Neural-based Transient Behavioral Modeling of IC Buffers for High-speed Interconnect Design  
*Yi Cao, Qi-Jun Zhang, Ihsan Erdin,*
- 17:00 A Space-Mapping Based CAD Methodology for Modeling Temperature Characteristics of Comblne Resonators  
*A. Kashi, P. Kumar, M. Caron, V. K. Devabhaktuni,*
- 17:20 Fast Computational Model for Electrical Characterization of Complex 3D-packaging  
*Er-Ping Li, En-Xiao Liu, Zaw-Oo Zaw, Yao-Jiang Zhang, Xing-Chang Wei,*

---

**Session 4P6**  
**Advances in EM Computer-Aided Design**

**Thursday PM, March 29, 2007**

**Room F (Xiuyuan)**

Organized by Qijun Zhang

Chaired by Qijun Zhang, Ming Yu

---

- 13:00 EM Methods for MIC Modeling and Design: An Overview  
*Mustapha C. E. Yagoub, Mohamed L. Tounsi,*
- 13:20 CAD of Left-handed Transmission Line Bandpass Filters  
*L. Zhu, V. K. Devabhaktuni, C. Wang,*
- 13:40 Optimal Shape Design of the Electromagnetic Devices in a Level Set Based Implicit Moving Boundary Framework  
*Jijun Xiao, Liu Yang,*
- 14:00 Optimal Model for Wiggly Coupled Microstrips in Directional Coupler and Schiffman Phase Shifter  
*Ming-Wei Zhou, Li Li, Qiu-Yan Yin,*
- 14:20 A Simple Technique for Efficient Computation of Electromagnetic Coupling in Microwave Integrated Circuits  
*Dave McPhee, Sashieka Seneviratne, Mustapha C. E. Yagoub,*
- 14:40 On Quantum Corrections to Space Charge Waves in Silicon  
*A. Garcia-B, V. Grimalsky, E. Gutierrez-D., S. Koshavaya,*

---

**Session 4P7**  
**Antenna Theory and Radiation**

**Thursday PM, March 29, 2007**

**Room G (Hengyuan)**

Organized by Xiaojuan Zhang

Chaired by Xiaojuan Zhang

---

- 13:00 Communication of Ultra-short Wave in Shadow Region and the Antenna Feasibility Analysis  
*Ping Li, Zhi-Yuan Zhao, Tao Zou,*
- 13:20 A Chebyshev Tapered TEM Horn Antenna  
*S. Bassam, J. Rashed-Mohassel,*
- 13:40 Low Power Dissipation SEU-hardened CMOS Latch  
*Yuhong Li, Suge Yue, Yuanfu Zhao, Guozhen Liang,*
- 14:00 Mutual Coupling of Rectangular DRA in a Four Element Circular Array  
*S. Jarchi, J. Rashed-Mohassel, M. H. Neshati,*
- 14:20 Flat Beams with Phase Control  
*R. Ramana Reddy, U. Jayalakshmi, G. S. N. Raju,*
- 14:40 Wideband Microstrip Antenna Array Using U-slot  
*Wenwen Chai, Xiaojuan Zhang, Shuguang Liu,*

- 15:00 **Coffee Break**
- 15:20 Numerical and Experimental Analysis of Bow-tie Antennas with Changing of Shield's Height  
*Kai Zhou, Wenji Zhang, Xiaojuan Zhang,*
- 15:40 Some Investigations on the Radiation Patterns of Arrays Generated by Additional Analog and Digital Phase Distributions  
*G. S. N. Raju,*
- 16:00 Terahertz Radiation from the Grating Waveguide Loaded Plasma  
*Wenxin Liu, Ziqiang Yang, Zheng Liang, Limei Qi, Yu Liu, D. Li, K. Imasaki,*
- 16:20 A Novel Linear Beamforming Algorithm  
*Shuangning Shi, Yong Shang, Qinglin Liang,*
- 16:40 The Performance of QSP Beamformer with Array Errors  
*Shuangning Shi, Yong Shang, Qinglin Liang, Bin Liang,*
- 17:00 The New Approach to Computing the Transparency of Horn Layer of Linear Antenna Lattice  
*P. V. Filonov, V. L. Kuznetsov,*
- 09:40 A Bianisotropic Left-handed Metamaterials Compose of S-ring Resonator  
*Xiangxiang Cheng, Hongsheng Chen, Lixin Ran, Bae-Ian Wu, Tomasz M. Grzegorzczak, Jin Au Kong,*
- 10:00 **Coffee Break**
- 10:20 The Bragg Scattering Properties on One-dimensional Composite Right/Left-handed Transmission Line  
*H. Li, L. He, Y. Zhang,*
- 10:40 A Microstrip Highpass Filter with Complementary Split Ring Resonators  
*C. Li, K. Y. Liu, F. Li,*
- 11:00 High Directive Cavity Antenna Based on 1D LHM-RHM Resonator  
*Tao Jiang, Yu Yuan, Dongxing Wan, Lixin Ran, Jin Au Kong,*
- 11:20 Imaging of Objects through Lossy Layer with Defects  
*Xiangxiang Cheng, Bae-Ian Wu, Tomasz M. Grzegorzczak, Jin Au Kong,*

---

**Session 5A2**
**Methods in Electromagnetic Scattering by Rough and Complex Surfaces**


---

 Friday AM, March 30, 2007

Room B (Zhongyuan)

Organized by Mark Spivack

 Chaired by Christos Christopoulos
 

---



---

**Session 5A1**
**Metamaterials and Photonic Crystals**


---

 Friday AM, March 30, 2007

Room C (Zhongyuan)

 Chaired by Alain Priou, Lindsay C. Botten
 

---

- 08:20 Accurate Defect Mode Modelling in Photonic Crystals Using the Generalised Fictitious Source Superposition Method  
*L. C. Botten, K. B. Dossou, S. Wilcox, R. C. McPhedran, C. M. de Sterke, N. A. Nicorovici, A. A. Asatryan,*
- 08:40 Extraction of Electrical Material Properties: Development of a New Enhanced Convergence Algorithm Available for Loss Material and Metamaterial Structures  
*Redha Abdeddaim, Habiba Hafdallah Ouslimani, Alain Priou,*
- 09:00 New Electrical Model for Left Handed Materials  
*Redha Abdeddaim, Habiba Hafdallah Ouslimani, Alain Priou,*
- 09:20 On Local Bianisotropic Metamaterials  
*E. O. Kamenetskii,*
- 08:00 Low Grazing Scattering from Periodic Neumann Surface with Finite Extent  
*Junichi Nakayama, Kazuhiro Hattori, Yasuhiko Tamura,*
- 08:20 A Two-scale Model for Composite Rough Surface Scattering  
*W. Z. Yan, L. X. Xu, Y. Du, F. Sheng, Z. N. Li, J. A. Kong,*
- 08:40 A Multi-section Method for Scattering by Unbounded Surfaces  
*R. W. E. Potthast, M. Lindner,*
- 09:00 A Modified Scheme of Sparse-matrix Canonical-grid Method for Rough Surface Scattering Using Interpolating Green's Function  
*M. Y. Xia, S. W. Huang, G. H. Zhang,*
- 09:20 Scattering of TE Plane Wave from Periodic Grating with Random Defects  
*Kazuhiro Hattori, Junichi Nakayama,*
- 09:40 Buffered Block Forward Backward Method with Relaxation for 3D Scattering Problems  
*C. Brennan, M. Mullen,*

- 10:00 **Coffee Break**
- 10:20 Interaction of Electromagnetic Waves with Complex Materials  
*C. Christopoulos, J. Paul, D. W. P. Thomas,*
- 10:40 Backscatter Enhancement for Rough Dielectric Surfaces in Left-right Operator Splitting  
*O. Rath, M. Spivack,*
- 11:00 Application of the Stochastic Second-degree Iterative Method to EM Scattering from Randomly Rough Surfaces  
*Y. Du, J. A. Kong,*
- 11:20 Scattering in Random Media Applied to Terahertz Time Domain Spectroscopy  
*L. M. Zurk,*
- 11:40 Impact of Sea Ice Morphology on Altimeter Performance  
*J. Fletcher, M. Spivack, P. Wadhams,*
- 10:20 Dispersion Relationships of AlGaInP-InP Surface-emitting Lasers Using Floquet-Bloch Theory  
*Jiun-Jie Liao, Shih-Han Chen, Yi-Ann Lin, Nai-Hsiang Sun, Jerome K. Butler, Gary A. Evans,*
- 10:40 Avalanche Photodetector Design for the Mid-infrared Using GaSb-based Alloys  
*R. Bhatia, M. Grzesik, S. Vangala, K. Vacarro, W. Goodhue, C. Armiento,*
- 11:00 High-quality Ultra-uniform Quantum Dot (QD) Fabrication Techniques for High-performance Terahertz Quantum Cascaded Laser  
*Xuejun Lu,*
- 11:20 Multi-mode One-way Theory for Micro-ring Cavities  
*Yi-Cheng Yang, Wei-Chi Cheng, Hung-Wen Chang,*

**Session 5A4a****Computational Electromagnetics and Photonics, Method and Applications**

Friday AM, March 30, 2007

Room D (Zhongyuan)

Organized by Humberto Cesar Chave Fernandes

Chaired by Humberto Cesar Chave Fernandes, Davi Bibiano Brito

**Session 5A3****Large-scale Passive Optical Waveguide Devices, Design and Simulation**

Friday AM, March 30, 2007

Room A (Zhongyuan)

Organized by Hung-Wen Chang

Chaired by Hung-Wen Chang

- 08:20 Computing Optimal Two-dimensional Waveguide Bends  
*Zhen Hu, Ya Yan Lu,*
- 08:40 Analysis of Dielectric Waveguide Bending with Planar Layer Modes of Similar Structure  
*Hung-Wen Chang,*
- 09:00 Numerical Analysis of SPM and XPM Penalties of the Conventional IM-DD System with NRZ and RZ Format  
*H. Taga, H. W. Chang,*
- 09:20 Vectorial Leaky Mode Simulation of 2D Ridged Antiresonant Reflecting Optical Waveguides (ARROWS)  
*Meng-Huei Sheng, Chia-Chun Chung, Hung-Wen Chang,*
- 09:40 Dispersion Relationships of AlGaInAs-InP DBR Gratings Using Floquet-Bloch Theory  
*Jiun-Jie Liao, Jia-Huei Lin, Min-Xiu Jiang, Nai-Hsiang Sun, Jerome K. Butler, Gary A. Evans,*
- 10:00 **Coffee Break**
- 08:00 Applications of Modular RBF/MLP Neural Networks in the Modeling of Microstrip Photonic Bandgap Structures  
*M. G. Passos, H. C. C. Fernandes, P. H. da F. Silva,*
- 08:20 Mobile Broadband: The Emergency of IEEE 802.16e  
*Humberto César Chaves Fernandes, Davi Bibiano Brito,*
- 08:40 Rectangular Slot Resonator with Four Dielectric Layers  
*Humberto César Chaves Fernandes, Humberto Dionísio de Andrade, Davi Bibiano Brito, Manoel Bonfim Lins de Aquino,*
- 09:00 Multilayer Planar Resonators with Superconductive Patch on PBG Substrate  
*Humberto César Chaves Fernandes, George Dennes Fernandes Alves,*
- 09:20 Photonic Crystal at Millimeter Waves Applications  
*Humberto César Chaves Fernandes, Joêmia Leilane G. Medeiros, Isnaldo M. A. Júnior, Davi B. Brito,*
- 09:40 Novel Neural Network Models of Q-Type Integrals and Their Use for Circular-loop Antenna Analysis  
*Humberto César Chaves Fernandes, M. G. Passos, P. H. da F. Silva,*

10:00 **Coffee Break**

---

**Session 5A4b**  
**Computational Electromagnetics: ADI-FDTD**

**Friday AM, March 30, 2007**

**Room D (Zhongyuan)**

Chaired by Hong-Xing Zheng

---

10:20 A Modified PML Conductivity Profile for the ADI-FDTD Method with Split-field PML  
*Jiunn-Nan Hwang, Fu-Chiarnq Chen,*

10:40 Refraction in Chiral Medium with a Negative Refractive Index Simulated by the ADI-FDTD Method  
*Hong-Xing Zheng, Kwok Wa Leung,*

11:00 On the ADI-FDTD Algorithm for Inhomogeneous Elastic Media  
*Hong-Xing Zheng, Kwok Wa Leung,*

11:20 Time-domain Computation of Electromagnetic Scattering Using ADI-PSTD Algorithm  
*Hong-Xing Zheng, Kwok Wa Leung,*

---

**Session 5A5**  
**Photonics Computer-Aided Design**

**Friday AM, March 30, 2007**

**Room E (Jinyuan)**

Organized by Chenglin Xu, Li Yang

Chaired by Chenglin Xu, Li Yang

---

08:40 Coupled-mode Theory for Spun 4-lobe Stress Region Fibers  
*Jingren Qian, Xuxu Wang,*

09:00 A Compact Branch-type TE/TM Wave Splitter Using a Surface Plasmon Waveguide  
*Tomohide Yamazaki, Junji Yamauchi, Hisamatsu Nakano,*

09:20 The Effect of Radiation Coupling in Higher Order Fiber Bragg Grating  
*Li Yang, Wei-Ping Huang, Xi-Jia Gu,*

09:40 A Vector Finite-element Method for Open Waveguides Using Boundary Integral Equations  
*H. S. Yoo, A. Gopinath,*

10:00 **Coffee Break**

10:20 Applications of Cladding Stress Induced Effects for Advanced Polarization Control in Silicon Photonics  
*D.-X. Xu, P. Cheben, A. Del age, S. Janz, B. Lamontagne, M.-J. Picard, E. Post, P. Waldron, W. N. Ye,*

10:40 A Dirichlet-to-Neumann Map Method for Analyzing Second Harmonic Generation in Piecewise Uniform Waveguides  
*Lijun Yuan, Ya Yan Lu,*

11:00 Application of Fourth Order Finite Difference Method in Photonic Simulations  
*Lei Zhao, Hua Zhang, Wei-Ping Huang,*

---

**Session 5A6**  
**Waveguides, Circuits and Systems**

**Friday AM, March 30, 2007**

**Room F (Xiuyuan)**

Chaired by Mitsuo Tateiba, Tsuneki Yamasaki

---

08:00 On-chip Electromagnetic Shielding and Differential Technologies for Performance Enhancement of Silicon-based Devices and Circuits in RF(MM)ICs  
*Wen-Yan Yin, Lin Liang, Junfa Mao,*

08:20 Analysis of Crosstalk between Single-ended and Differential Lines  
*F. Xiao, R. Hashimoto, K. Murano, Y. Kami,*

08:40 A Study of the Confirming Method on 20H Rule in High Speed PCB Design  
*Wei Chen, Qiuyuan Huang, Peng Zhou, Bin Wang,*

09:00 De-embedding Techniques for Passive Components Implemented on a 0.25  $\mu\text{m}$  Digital CMOS Process  
*Marc D. Rosales, Honee Lyn Tan, Louis P. Alarcon, Delfin Jay Sabido IX,*

09:20 Extraction of Subterahertz Transmission-line Parameters of Coplanar Waveguides  
*Jingjing Zhang, Thomas Y. Hsiang,*

09:40 Design of MEMS Controlled Phased Shifter Using SCT  
*N. Raveu, E. Perret, H. Aubert, H. Legay,*

10:00 **Coffee Break**

10:20 Waveguide Analysis Using Multiresolution Time Domain Method  
*Xiaoli Huang, Xia Ling, Haiyan Chen,*

10:40 Application of FDTD-overlapping Integral Method in Simulation of Waveguide Amplifier  
*J. Z. Wang, P. Zhang, Y. Z. Liu,*

- |   |  |
|---|--|
| <p>11:00 Reliability Analysis of the Circuit and FM Modulation Parameters for the First Harmonic Level Reduction of the Forward Switching Power Supplies<br/><i>Shahram Hosseinzadeh, Nader Samsunchi,</i></p> <p>11:20 Beam-wave Coupling in a Double-beam Gyrotron Traveling Wave Amplifier<br/><i>Chong-Qing Jiao, Ji-Run Luo,</i></p> <p>11:40 One Cell Slow-wave Compact Microstrip Bandpass Filter with Suppression of Higher Harmonics<br/><i>Dusan Nesic,</i></p> | <p>09:20 Rolled Dipole Antenna for Low-resolution GPR<br/><i>A. A. Lestari, D. Yulian, A. B. Suksmono, E. Bharata, A. G. Yarovoy, L. P. Ligthart,</i></p> <p>09:40 Viability of Convex-modulated Exponential Serrations for Improved Performance of CATRs<br/><i>T. Venkata Rama Krishna, P. Siddaiah, B. Prabhakara Rao,</i></p> <p>10:00 <b>Coffee Break</b></p> |
|---|--|

---

**Session 5A7**  
**Antennas and Systems**

---

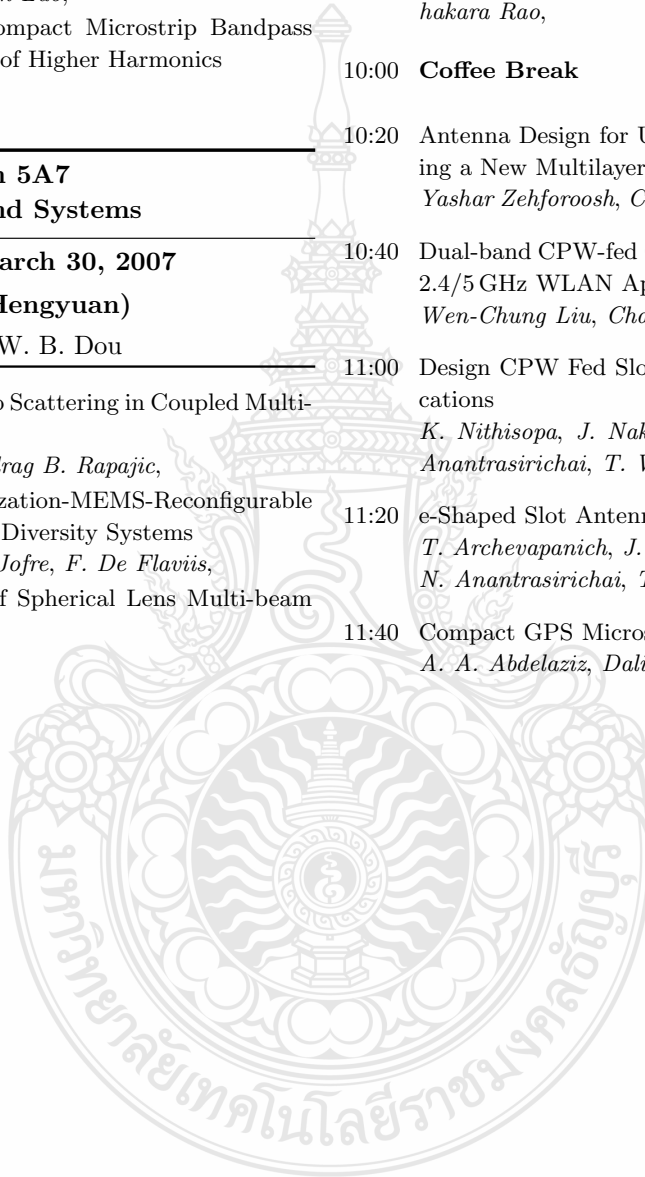
**Friday AM, March 30, 2007**

**Room G (Hengyuan)**

Chaired by W. B. Dou

---

- |   |  |
|---|--|
| <p>08:20 Signal Correlation due to Scattering in Coupled Multi-antenna Systems<br/><i>Snezana Krusevac, Predrag B. Rapajic,</i></p> <p>08:40 A Compact Polarization-MEMS-Reconfigurable Multi-Port Antenna for Diversity Systems<br/><i>A. Grau, J. Romeu, L. Jofre, F. De Flaviis,</i></p> <p>09:00 BOR-FDTD Analysis of Spherical Lens Multi-beam Antenna<br/><i>Y. H. Li, W. B. Dou,</i></p> | <p>10:20 Antenna Design for Ultra Wideband Application Using a New Multilayer Structure<br/><i>Yashar Zehforoosh, Changiz Ghobadi, Javad Nourinia,</i></p> <p>10:40 Dual-band CPW-fed G-shaped Monopole Antenna for 2.4/5 GHz WLAN Application<br/><i>Wen-Chung Liu, Chao-Ming Wu,</i></p> <p>11:00 Design CPW Fed Slot Antenna for Wideband Applications<br/><i>K. Nithisopa, J. Nakasuwan, N. Songthanapitak, N. Anantrasirichai, T. Wakabayashi,</i></p> <p>11:20 e-Shaped Slot Antenna for WLAN Applications<br/><i>T. Archevapanich, J. Nakasuwan, N. Songthanapitak, N. Anantrasirichai, T. Wakabayashi,</i></p> <p>11:40 Compact GPS Microstrip Patch Antenna<br/><i>A. A. Abdelaziz, Dalia M. Nashaat,</i></p> |
|---|--|



## PIERS SURVEY

This is to inform you about future Progress in Electromagnetics Research Symposium (PIERS).

Should you be interested in organizing a session, please online fill out this PIERS Survey Form in PIERS web site at <http://emacademy.org> or <http://piers.org>.

Name: \_\_\_\_\_ Position: \_\_\_\_\_  
 Affiliation: \_\_\_\_\_ Email: \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_ Phone: \_\_\_\_\_  
 Address: \_\_\_\_\_ Fax: \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_ URL: \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_ Date: \_\_\_\_\_

A1. For the next PIERS to be held on 27–30 August, 2007 in Prague, Czech Republic,

( ) I will be interested in organizing and chairing a session, the proposed title is  
 \_\_\_\_\_

A2. For the next PIERS to be held on 24–28 March, 2008 in CHINA,

( ) I will be interested in organizing and chairing a session, the proposed title is  
 \_\_\_\_\_

C. For past PIERS, I attended

- |                                 |                                 |                                |
|---------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|
| ( ) 1st PIERS1989 in Boston     | ( ) 2nd PIERS1991 in Cambridge  | ( ) 3rd PIERS1993 in Pasadena  |
| ( ) 4th PIERS1994 in Noordwijk  | ( ) 5th PIERS1995 in Seattle    | ( ) 6th PIERS1996 in Innsbruck |
| ( ) 7th PIERS1997 in Hong Kong  | ( ) 8th PIERS1997 in Cambridge  | ( ) 9th PIERS1998 in Nantes    |
| ( ) 10th PIERS1999 in Taipei    | ( ) 11th PIERS2000 in Cambridge | ( ) 12th PIERS2001 in Osaka    |
| ( ) 13th PIERS2002 in Cambridge | ( ) 14th PIERS2003 in Singapore | ( ) 15th PIERS2003 in Honolulu |
| ( ) 16th PIERS2004 in Pisa      | ( ) 17th PIERS2004 in Nanjing   | ( ) 18th PIERS2005 in Hangzhou |
| ( ) 19th PIERS2006 in Cambridge | ( ) 20th PIERS2006 in Tokyo     | ( ) 21st PIERS2007 in Beijing  |

D. I have the following comments about PIERS:

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

# PIERS 2007 in Prague

## Progress in Electromagnetics Research Symposium

27 – 30 August 2007

Czech Technical University in Prague

Czech Republic, European Union

---

### CALL FOR PAPERS

---

PIERS provides an international forum for reporting progress and recent advances in all aspects of electromagnetics. Spectra range from statics to RF, microwave, photonics, and beyond. Topics include radiation, propagation, diffraction, scattering, guidance, resonance, power, energy and force issues, and all applications and modern developments. Potential session organizers are welcome to propose specific technical topics by filling out the PIERS survey at <http://piers.org>.

#### SUGGESTED TOPICS:

- |  |  |
|--|--|
| 1 Electromagnetic theory                             | 2 Computational electromagnetics, hybrid methods               |
| 3 Spectra, time, and frequency domain techniques     | 4 Fast iteration, large scale and parallel computation         |
| 5 Transmission lines and waveguide discontinuities   | 6 Resonators, filters, interconnects, packaging, MMIC          |
| 7 Antenna theory and radiation                       | 8 Microstrip and printed antennas, phase array antennas        |
| 9 RF and wireless communication, multipath           | 10 Mobile antennas, conformal and smart skin antennas          |
| 11 Power electronics, superconducting devices        | 12 Systems and components, electromagnetic compatibility       |
| 13 Nano scale electromagnetics, MEMS                 | 14 Magnetic levitation, transportation and collision avoidance |
| 15 Precision airport landing systems, GPS            | 16 Radar sounding of atmosphere, ionospheric propagation       |
| 17 Microwave remote sensing and polarimetry, SAR     | 18 Subsurface imaging and detection technology, GPR            |
| 19 Active and passive remote sensing systems         | 20 Electromagnetic signal processing, wavelets, neural network |
| 21 Rough surface scattering and volume scattering    | 22 Remote sensing of the earth, ocean, and atmosphere          |
| 23 Scattering, diffraction, and inverse scattering   | 24 Microwave and millimeter wave circuits and devices, CAD     |
| 25 Optics and photonics, gyrotrons, THz technology   | 26 Quantum well devices, microwave photonic systems, PBG       |
| 27 Medical electromagnetics, biological effects, MRI | 28 Fiber optics, optical sensors, quantum computing            |
| 29 Biological media, composite and random media      | 30 Plasmas, nonlinear media, fractal, chiral media, LHM        |
| 31 Constitutive relations and bianisotropic media    | 32 Moving media, relativity, field quantization, and others    |

---

### ONE PAGE ABSTRACT MUST BE RECEIVED BY 20 FEBRUARY 2007

---

**Abstract Guidelines:** Authors are invited to submit a one-page abstract in English. No full-length paper is required. The abstract should explain clearly the content and relevance of the proposed technical contribution. On a separate page list the following information: (1) Title of the paper, (2) Name, affiliation, and email of each author, (3) Mailing address, (4) Telephone/Fax numbers, (5) Corresponding author and presenting author, (6) Topic or Session Organizer, if applicable, (7) State if poster presentation is preferred.

Please use On-Line-Submission (<http://piers.org>) to submit your contribution or via email ([tpc@piers.org](mailto:tpc@piers.org) and/or [piers@ewt.mit.edu](mailto:piers@ewt.mit.edu)) by attachments. Authors are recommended to use \*.tex, \*.doc, or \*.pdf as the file format. The abstract submission deadline is **20 February 2007** and the author pre-registration deadline is **20 April 2007**.

**Full-length Papers:** Author of an accepted abstract is invited to (but is not required to) submit a full-length paper of no more than five pages. A full-length paper should contain an Abstract, an Introduction, Main text, Conclusion and References. All abstracts and peer reviewed full-length papers will be published in the related PIERS Publications after the author is preregistered. Selected full-length papers will be published in **PIERS Online**. The deadline for the submission of extended papers is **20 April 2007**.

A CD-ROM, instead of printed hard copies, will be attached to the printed Technical Program of PIERS 2007 in Prague. Please visit PIERS2007 website for the latest PIERS online sample files.

---

### PRESENTING AUTHORS MUST PRE-REGISTER BY 20 APRIL 2007

---

Each presenting author is limited to presenting no more than three papers in oral and poster sessions, and must preregister by paying a non-refundable fee of **US\$395** before **20 April 2007**. For students with valid identification, the non-refundable pre-registration fee is **US\$195**. Registration fee will be raised to **\$500** after **20 April 2007**. Papers will be posted in their entirety on the web after the pre-registration is completed.

Updated and detail information will be posted at <http://piers.org> and <http://emacademy.org>.

	<b>MONDAY AM 8:00 MARCH 26</b>	<b>MONDAY PM 13:00 MARCH 26</b>	<b>TUESDAY AM 8:00 MARCH 27</b>	<b>TUESDAY PM 13:00 MARCH 27</b>		
<b>ROOM C</b>	1A1 - NSFC Workshop on Metamaterials 1	1P1 - NSFC Workshop on Metamaterials 2	2A1 - Novel Theoretical Advances and Potential Applications of Metamaterials	2P1 - Metamaterials: Physics, Fabrication and Applications		
<b>ROOM B</b>	1A2 - Polarimetric Radar Remote Sensing	1P2a - Rough Surface Scattering and Related Phenomena	1P2b - Remote Sensing and Scattering	2A2 - Remote Sensing of Water Cycle Related Components	2P2a - Active and Passive Remote Sensing	2P2b - Scattering and Emission Models for Microwave Remote Sensing
<b>ROOM A</b>	1A3 - Periodical Structure, EM Theory and Applications	1P3a - Theory of Debye plasmas, Screened Coulomb Potentials, Radiation from Weakly Coupled Plasmas	1P3b - Optical Fiber and Wireless Communication	2A3 - Optical Matter: Modeling and Experimental Realizations 1	2P3 - Optical Matter: Modeling and Experimental Realizations 2	
<b>ROOM D</b>	1A4 - Safety Issues of Wireless Communication	1P4 - New Challenges and Opportunities in Computational Electromagnetics		2A4 - Extended/Unconventional Electromagnetic Theory, EHD/EMHD and Electrobiolgy 1	2P4a - Extended/Unconventional EM Theory, EHD/EMHD and Electrobiolgy 2	2P4b - Plasmas: Normal and Unconventional
<b>ROOM E</b>		1P5 - Inverse Problem in the Mechanics, Materials and Electromagnetics		2A5 - Microwave Applications in Material Processing and Characterization	2P5 - Electromagnetic Modeling and Inversion and Applications	
<b>ROOM F</b>			2A6a - Biomedical Applications of Light Scattering Methods	2A6b - Medical and Biological Applications of Microwaves	2P6 - Microwave and Millimeter Wave Circuits and Devices, CAD	
<b>ROOM G</b>			2A7 - Electromagnetic Systems and Components for Defense and Security		2P7a - Compact Multiband Antenna	2P7b - Planar Antennas and Propag. for Mobile Communications
<b>ROOM K</b>	1AP - Poster Session 1			2AP - Poster Session 2		



	<b>WEDNESDAY AM 8:00 MARCH 28</b>	<b>WEDNESDAY PM 13:00 MARCH 28</b>	<b>THURSDAY AM 8:00 MARCH 29</b>		<b>THURSDAY PM 13:00 MARCH 29</b>		<b>FRIDAY AM 8:00 MARCH 30</b>		
<b>ROOM C</b>	3A1 - Metamaterials towards the Visible		4A1a - Biophotonics and Plasmonics	4A1b - Nanotechnology	4P1 - Electromagnetics in Photonic Crystals		5A1 - Metamaterials and Photonic Crystals		
<b>ROOM B</b>	3A2 - Direct and Inverse Scattering Problems for Rough Surfaces	3P4 - Plasmonics: Nanoscale, Ultrafast, Anisotropic, Nonlinear, and Active Phenomena (ROOM H)	4A2 - Low Frequency EM Wave Seabed Logging to Indicate the Existence of Hydrocarbon Layers 1		4P2a - Low Freq. EM Wave Seabed Logging to Indicate Hydrocarbon Layers 2	4P2b - New Applications of Radar for Non-destructive Testing	5A2 - Methods in Electromagnetic Scattering by Rough and Complex Surfaces		
<b>ROOM A</b>	3A3 - Optics and Photonics, Gyrotrons, THz Technology	3P5 - Electromagnetics in Lightning Research (ROOM I)	4A3 - Dissipative Solitons 1		4P3 - Dissipative Solitons 2		5A3 - Large-scale Passive Optical Waveguide Devices, Design and Simulation		
<b>ROOM D</b>	3A4 - Novel Mathematical Methods in Electromagnetics	3P6a - Electromagnetic Scattering: Theory and Applications (ROOM J)	3P6b - EM Signatures for Natural and Man-made Objects (ROOM J)	4A4 - Integral Equations and Fast Solvers		4P4 - Computational Electromagnetics		5A4a - CEM& Photonics, Method and Applications	5A4b - CEM: ADI-FDTD
<b>ROOM E</b>	3A5 - Plasmonic Nanophotonics	3P1 - Novel Materials and Methods in Photonic Crystals	4A5 - Electromagnetic and Seismic and Flow Field Imaging in the Geophysical and Environment Sciences and Engineering		4P5a - MRI Electromagnetics	4P5b - Medical Electromagnetics and Biological Effects	5A5 - Photonics Computer-Aided Design		
<b>ROOM F</b>	3A6 - Wireless Communication Component	3P2 - Advanced Inverse Scattering Techniques for Non-invasive Diagnostics Applications	4A6 - High Speed I/O Signal and Power Integrity Analysis		4P6 - Advances in EM Computer-Aided Design		5A6 - Waveguides, Circuits and Systems		
<b>ROOM G</b>	3A7 - Microstrip Patch Antennas, Phased Arrays and Optical Beam Forming	3P3 - Adaptive, Multifrequency and Wideband Antennas for Wireless Systems	4A7 - Electromagnetic and Optical Wave Technologies for Communications and Sensing		4P7 - Antenna Theory and Radiation		5A7- Antennas and Systems		

PIERS Proceedings, ISSN 1559-9450, Homepage - Windows Internet Explorer

http://piers.mit.edu/piersproceedings/piers2k7Beijing.php?searchname=chulv. Google

File Edit View Favorites Tools Help

PIERS Proceedings, ISSN 1559-9450, Homepage

## PIERS 2007 in Beijing Technical Program

Search Paper by Title, Key, or Author:

Search Matches: 1 | [Back to Full Proceedings](#)

Session	Name	Date/Room
- 2P7b	<b>Planar Antennas and Propagation for Mobile Communications</b> <i>Organized by</i> <i>Toshio Wakabayashi</i> <i>Chaired by</i> <i>Toshio Wakabayashi</i>	2007-03-27 PM G (Hengyuan)
16:40	<b>Design Narrow Slot Antenna for Dual Frequency</b> • <i>C. Chulvanich, J. Nakasuwan, N. Songthanapitak, Noppin Anantrasirichai, and Toshio Wakabayashi</i> [Full Text: PDF]	

Table Generation took 0.1598 s

PIERS Online - Windows Internet Explorer

http://piers.mit.edu/piersonline/piers.php Google

File Edit View Favorites Tools Help

PIERS Online

### PIERS Online

Quick Article Search:

Matches Found: 1

▶ [PIERS Online](#) ▶ [Vol. 3](#) ▶ [No. 7](#) ▶ [2007](#)

- **Design Narrow Slot Antenna for Dual Frequency**  
*C. Chulvanich, J. Nakasuwan, N. Songthanapitak, Noppin Anantrasirichai, and Toshio Wakabayashi*  
PIERS Online, Vol. 3, No. 7, 1024-1028, 2007  
[doi:10.2529/PIERS061011233335](#)  
[\[PDF Full Text \(281 KB\)\]](#)  
Downloads: 1161

Vol. 6 - No. 3 - 2010  
Vol. 6 - No. 2 - 2010  
Vol. 6 - No. 1 - 2010  
Vol. 5 - No. 8 - 2009  
Vol. 5 - No. 7 - 2009  
Vol. 5 - No. 6 - 2009  
Vol. 5 - No. 5 - 2009  
Vol. 5 - No. 4 - 2009  
Vol. 5 - No. 3 - 2009  
Vol. 5 - No. 2 - 2009  
Vol. 5 - No. 1 - 2009  
Vol. 4 - No. 8 - 2008

## Design Narrow Slot Antenna for Dual Frequency

C. Chulvanich<sup>1,2</sup>, J. Nakasuwan<sup>1</sup>, N. Songthanapitak<sup>1</sup>  
N. Anantrasirichai<sup>3</sup> and T. Wakabayashi<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Department of Electronic and Telecommunication Engineering, Faculty of Engineering  
Rajamangala University of Technology Thanyaburi (RMUTT) Klong 6  
Thanyaburi, Pathumthanee, Thailand

<sup>2</sup>Department of Electronic and Telecommunication Engineering, Faculty of Engineering  
Rajamangala University of Technology Phra Nakhon (RMUTP) North Bangkok  
Bangkok 10800, Thailand

<sup>3</sup>ReCCIT, Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang  
Bangkok 10520, Thailand

<sup>4</sup>School of Information Science and Technology, Tokai University  
Hirasuka, Kanagawa 259-1292, Japan

**Abstract**— The narrow slot loop antenna and linear slot antenna fed by microstrip line are designed for dual frequency at 2.44 GHz and 5.25 GHz on the standard of IEEE 802.11b/g (2.4–2.4835 GHz), IEEE 802.11j/a (5.15–5.35 GHz), and IEEE 802.16d (5.7–5.9 GHz). These structures are easy to adjust the length of slot antenna for dual frequency band. It can control the higher frequency band around 4.9 GHz to 5.8 GHz by linear slot antenna. Adjusting some parameters of narrow slot loop antenna will influence on the resonance frequency and bandwidth. By using IE3D software [1], the characteristics of antenna are investigated and analyzed, including instance input impedance, return loss and far field radiation patterns.

### 1. CONCEPT OF LINEAR NARROW SLOT ANTENNA

The slot antennas in this paper are designed on FR4 (dielectric constant  $\epsilon_r = 4.5$ ) with thickness of 1.6 mm. The simple slot antenna is linear narrow slot antenna which is easy to control the resonance frequency by adjusting the length of slot antenna. The simple structure of single linear slot antenna is shown in Figure 1.

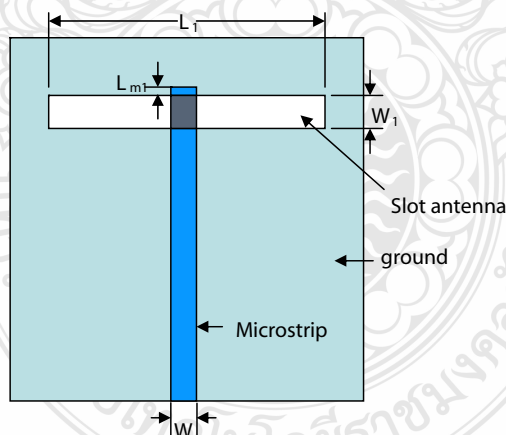


Figure 1: Simple structure of linear slot antenna.

The length of linear slot antenna  $L_1$  is designed for 2.44 GHz which referred with wavelength in the substrate  $\lambda_g$  that can be calculated by following:

$$\lambda_0 = \frac{c}{f} \quad (1)$$

$$\lambda_g = \frac{\lambda_0}{\sqrt{\epsilon_{eff}}} \quad (2)$$

where  $\epsilon_{eff}$  is the effective dielectric constant

$$\epsilon_{eff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left[ 1 + 12 \frac{h}{w} \right]^{-1/2} \quad (3)$$

In this case,  $\lambda_g = 74.14$  mm at frequency 2.44 GHz.

The width of microstrip line is designed for match impedance with the characteristic impedance of transmission line 50 ohms which can be calculated by following:

$$\frac{w}{h} = \frac{2}{\pi} \left\{ B - 1 - \ln(2B - 1) + \frac{\epsilon_r - 1}{2\epsilon_r} [\ln(B - 1)] + 0.39 - \frac{0.61}{\epsilon_r} \right\} \quad (4)$$

where  $B = \frac{60\pi^2}{Z_0\sqrt{\epsilon_r}}$  and  $Z_0$  is characteristic impedance.

In this case, width of microstrip line:  $W = 3.0$  mm.

At designed frequency of 2.44 GHz, the length of slot antenna  $L_1 = 35.8$  mm ( $0.48\lambda_g$ ). The width of linear slot antenna  $W_1$  is varied in five values beginning from 2.5 mm to 5 mm by step up 0.5 mm, and  $L_{m1}$  is adjusted for match impedance. The simulation results of return loss  $S_{11}$ , resonance frequency, frequency range and bandwidth are tabulated in Table 1. It shows that the changing in width of slot antenna will affect on the resonance frequency. When the width of slot is increased, the resonance frequency will decrease and bandwidth is wider. Therefore, if we increase the width of slot, the length of slot should be decreased in order to achieve the same resonance frequency and wider bandwidth.

Table 1: The simulation results of slot antenna by adjusting  $W_1$ .

$W_1$ (mm.)	Resonance Freq. (GHz)	Freq. Range (GHz)	Bandwith (MHz)	Return Loss $S_{11}$ (dB)
2.5	2.52	2.46–2.58	120	–20.9
3.0	2.49	2.425–2.56	135	–27.9
3.5	2.46	2.39–2.54	150	–41.5
4.0	2.43	2.355–2.51	155	–27.1
5.0	2.40	2.325–2.48	155	–21.7

## 2. ANTENNA STRUCTURE OF NEW DESIGN

The new design for low frequency is done by developing linear slot antenna as refer in Figure 1 to narrow slot loop antenna, as shown in Figure 2. There are six parameters in this structure used to control frequency and match impedance, namely  $L_1$ ,  $L_3$ ,  $W$ ,  $W_1$ ,  $s$ , and  $L_{m1}$ . In this research, we fixed the value of  $L_1$ ,  $W$ ,  $W_1$ ,  $s$ , and  $L_{m1}$  to 35.8 mm, 3.0 mm, 2.5 mm, 0.5 mm and 0.5 mm, respectively. When varying the value of  $L_3$  from 0.25 mm to 10.0 mm, it will affect on the range of bandwidth. Therefore, some value of  $L_3$  can achieve the frequency band in the standard of IEEE 802.11 b/g; 2.4–2.4835 GHz, as shown in Table 2. This table shows that the adjusting of  $L_3$  will affect on the frequency band, so the parameter  $L_3$  is sub-control and  $W_1$  is the main control for finding the required frequency bandwidth.

Table 2: The simulation results of single narrow slot loop antenna by vary  $L_3$ .

$L_3$ (mm.)	Resonance Freq. (GHz)	Freq. Range (GHz)	Bandwith (kHz)	Return Loss $S_{11}$ (dB)
0.25	2.48	2.42–2.54	125	–32.9
0.5	2.475	2.415–2.54	125	–31.9
1.0	2.465	2.405–2.525	120	–30.4
3.0	2.44	2.385–2.5	115	–29.6
3.9	2.435	2.38–2.495	115	–29.1
5.0	2.425	2.37–2.485	115	–25.9
6.0	2.425	2.37–2.48	110	–27.4
10.0	2.425	2.37–2.48	110	–25.9

Table 2 shows various lengths of  $L_3$  between 0.25 mm–10.0 mm. The length of  $L_3$  will affect on resonance frequency, bandwidth and return loss. It can be seen that the resonance frequency, bandwidth and return loss will decrease when  $L_3$  is increased.

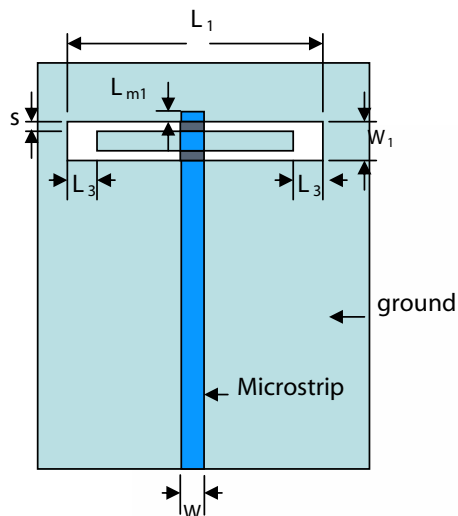


Figure 2: Structure of slot loop antenna for single low frequency.

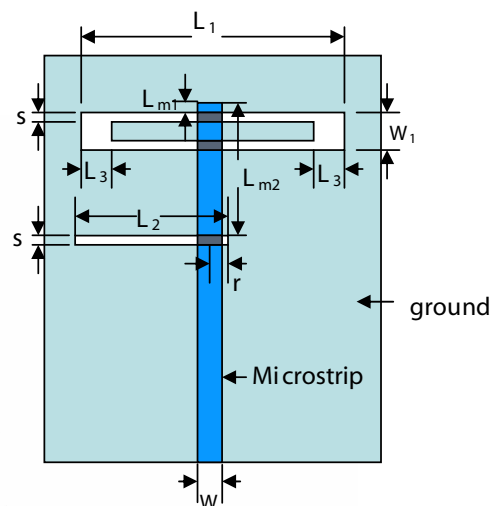


Figure 3: Structure of slot antennas for dual frequency.

Finally, a novel slot antenna for the dual frequency is proposed by inserting short linear narrow slot antenna below narrow slot loop antenna as illustrated in Figure 3. The new parameters of this structure are:  $L_2$ ,  $L_{m2}$ , and  $r$ . The parameter  $L_2$  is the length of the linear narrow slot which use for achieving the higher resonance frequency in order to support the standard of IEEE 802.11j/a (4.90–5.091/5.15–5.35 GHz) or IEEE 802.16d (5.7–5.9 GHz). In this case, the length of linear narrow slot  $L_2$  depends on the desired frequency. For the good results of  $S_{11}$ , we will set the parameter  $r$  to 2.0 mm and adjust  $L_{m2}$  for match impedance of 50 ohms.

### 3. RESULTS AND DISCUSSION

The simulation results in various different lengths  $L_2$  and adjusts  $L_{m2}$  for matching impedance of 50 ohms at low frequency and high frequency are shown in Table 3.

Table 3: Simulation results by adjust  $L_2$ ,  $L_{m2}$ .

Parameter		Lower Frequency (GHz)			Upper Frequency (GHz)		
$L_2$ (mm)	$L_{m2}$ (mm)	Resonance Freq.	Freq. Range	Return Loss $S_{11}$ (dB)	Resonance Freq.	Freq. Range	Return Loss $S_{11}$ (dB)
20.18	11.68	2.44	2.38–2.505	–38	4.945	4.84–5.11	–38
20.00	11.58	2.44	2.38–2.505	–38.9	4.995	4.86–5.155	–48.9
18.95	10.8	2.44	2.38–2.505	–43.6	5.25	5.125–5.39	–61.4
17.3	8.08	2.435	2.375–2.5	–40.5	5.8	5.53–5.965	–40.2

Table 3 shows the return loss, resonance frequency, and frequency range by fixing the  $L_3$  to 3.9 mm, and adjusting the length  $L_2$  and  $L_{m2}$  for dual frequency at lower resonance frequency 2.44 GHz and higher frequency from 4.945 GHz to 5.8 GHz. When the length of  $L_2$  is decreased, the distance  $L_{m2}$  which is used for match impedance will be decreased, and the resonance frequency of the upper frequency will increase. However, the resonance frequency and frequency range of the lower frequency are slightly changed. The return loss of the lower frequency and the higher frequency are also shown in Table 3.

The simulation result of the return loss  $S_{11}$  of Figure 3 with different length of  $L_2$  is shown in Figure 4.

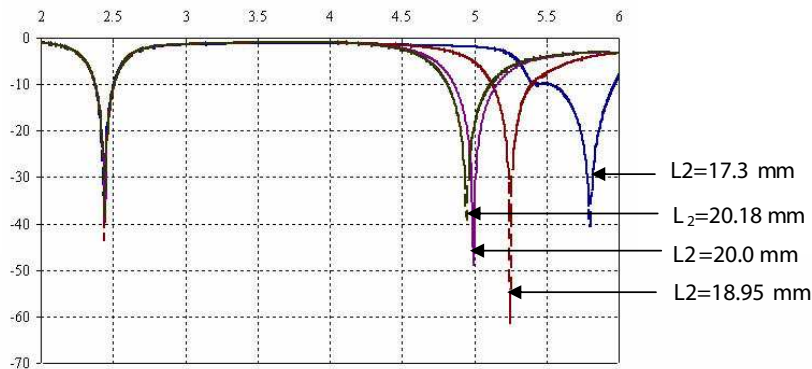


Figure 4: Return loss for dual resonance frequency of difference  $L_2$ .

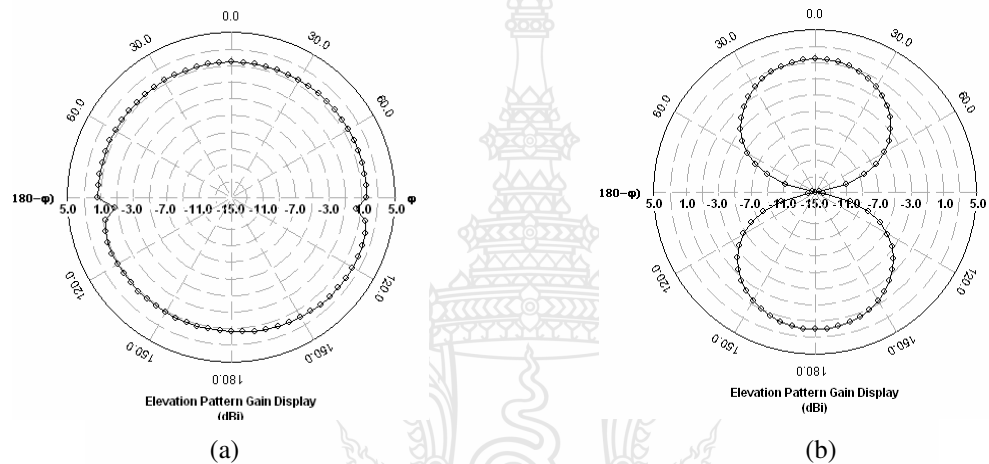


Figure 5: Radiation pattern of E-total at 2.44 GHz, (a)  $yz$  plane ( $\phi = 90^\circ$ ), (b)  $xz$  plane ( $\phi = 0^\circ$ ).

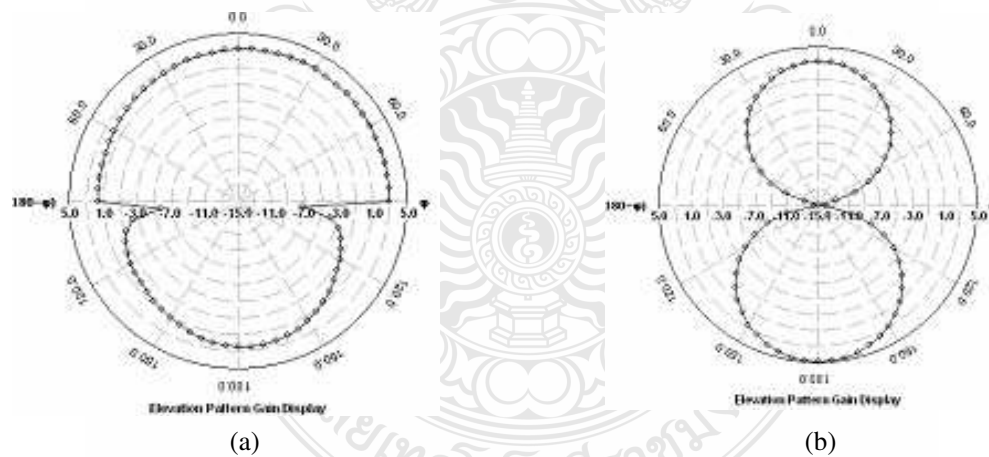


Figure 6: Radiation pattern E-total at 5.25 GHz, (a)  $yz$  plane ( $\phi = 90^\circ$ ), (b)  $xz$  plane ( $\phi = 0^\circ$ ).

#### 4. RADIATION PATTERN

The radiation pattern on  $yz$ -plane and  $xz$ -plane at frequency 2.44 GHz and 5.25 GHz are shown in Figure 5 and Figure 6.

#### 5. CONCLUSIONS

In this paper, a narrow slot loop antenna and linear slot antenna were designed for dual frequency. The former was accomplished at the lower frequency on standard frequency by IEEE 802.11b/g and the latter was done at the higher frequency on standard frequency by IEEE 802.11j/a and IEEE 802.16d. The new design of narrow slot loop antenna with using the technique of adjusting  $L_3$  can achieve the good match impedance for lower and higher resonance frequency.

**REFERENCES**

1. IE3D User's Manual Release 9, Zeland software, Inc., U.S.A., 2002.
2. Balanis, C. A., *Antenna Theory Analysis and Design*, John Wiley & Sons, Inc., 1997.
3. Benson, F. A. and T. M. Benson, *Fields Waves and Transmission Line*, Chapman & Hall, 1991.
4. Anantrasirichai, N., P. Rakluea, and T. Wakabayachi, "Slot antenna coupled by microstrip line for dual frequency," *ISITA/NOLTA 2002*, 635-638, October 7-11, 2002.



## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นายจรินทร์ จุลวานิช
วัน เดือน ปี	28 เมษายน 2496
ที่อยู่	เลขที่ 72 ซอยรามอินทรา 14 แยก 9 ถนนรามอินทรา แขวงท่าแร้ง เขตบางเขน กรุงเทพฯ 10230
ประวัติการศึกษา	2516 ประกาศนียบัตรวิชาชีพ ช่างกลปทุมวัน 2518 ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง วิทยาลัยเทคนิคกรุงเทพ 2520 ครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต สาขาไฟฟ้าสื่อสาร วิทยาลัยเทคโนโลยีและอาชีวศึกษา 2540 ครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต สาขาไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ 2544 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล
ประวัติการทำงาน	2521 อาจารย์ประจำแผนกอิเล็กทรอนิกส์ วิทยาลัยเทคโนโลยีและอาชีวศึกษา วิทยาเขตพระนครเหนือ 2537 – 2549 หัวหน้าแผนกอิเล็กทรอนิกส์ สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตพระนครเหนือ 2550 ดำรงตำแหน่งผู้ช่วยศาสตราจารย์ ระดับ 8 ผู้ช่วยคณบดีฝ่ายวิชาการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

### ผลงานวิจัยที่ตีพิมพ์เผยแพร่

C. Chulvanich, J. Nakasuwan, N. Songthanapitak, N. Anantrasirichai, T. Wakabayashi,  
“Design Narrow Slot Antenna for Dual Frequency” (PIERS Progress In Electromagnetics  
Research Symposium (PIERS 2007), Beijing, China, 26-30 March, 2007, pp. 1118-1122